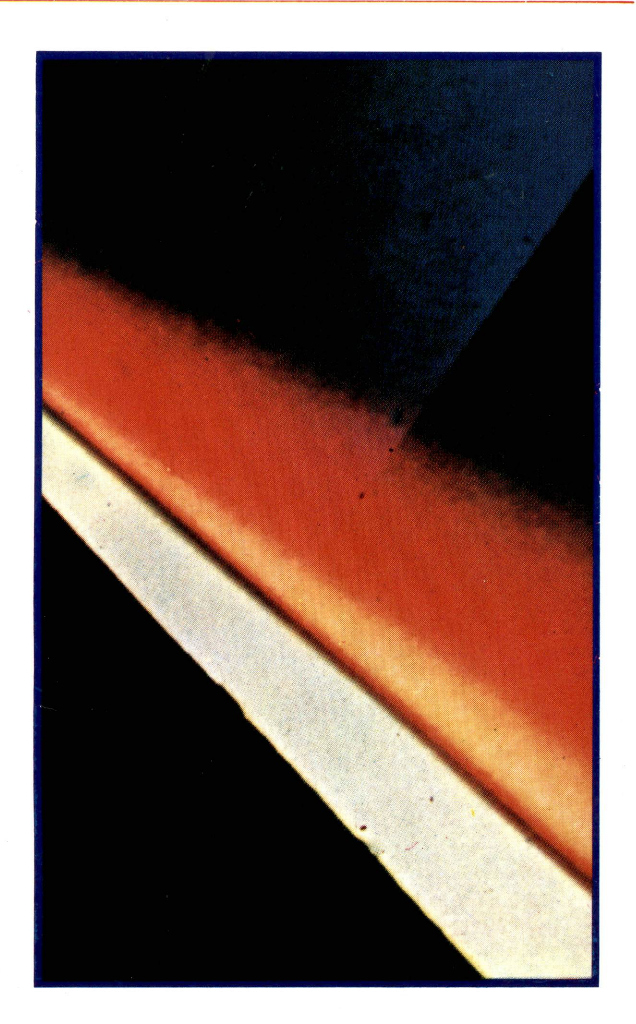
السير إسحق نيوتن

رسالة في البصريات



ترجمة د. الياس شمعون

سلسلة الكتب العلمية 4

معهد الانماء العربي

سلسلة الكتب العلمية

باشراف د. محمد دبس

يصدر منها تباعاً

1 ـ تاريخ الموسيقى العربية و آلاتها.
د. منى سنجقدار شعراني.

2 ـ طب العين للغافقي.
تحقيق د. حسن علي حسن.
مراجعة شفيق الأرناؤوط.

3 ـ التصحر في الوطن العربي.
د. إبراهيم نحال.

4 ـ رسالة في البصريات.
السير اسحق نيوتن.
ترجمة د. إلياس شمعون.

5 ـ التجديد في تعليم العلوم.
البرت ف. بايـنـر (اليونسكو).
ترجمة د. جواد نظام.

6 ـ المصادفة والضرورة.
جاك مونو.
ترجمة د. عصام المياس.

7 ـ صناعة النفط ومشتقاته.
د. انطوان حداد.

8 ـ مراحل تطور الكيمياء
إسحاق عظيموف
ترجمة د. مشعل خداج

9 ـ تكنولوجيا المعادن
د. عاطف علبي

10 ـ التربية البيئية في الوطن العربي.
د. طلال يونس.

رسالة
في البصريات

السير اسحق نيوتن
رسالة في البصريات
ترجمة إلياس شمعون

معهد الانماء العربي
ص. ب. 14/5300
بيروت ـ لبنان

تصميم وتنفيذ الغلاف: كريم الحاج وإيليا سابا

طبع في مطابع شركة تكنوبرس الحديثة ش.م.ل

معهد الإنماء العربي

رسالة في البصريات

السير إسحق نيوتن

سلسلة الكتب العلمية _ 4

بإشراف د. محمد دبس

535. نيوتن، إسحق، 1642-1727
رسالة في البصريات/تأليف إسحق نيوتن؛
ترجمة إلياس شمعون. ــ بيروت: معهد الإنماء العربي، 1987.
146 ص. إيض.؛ 24 سنم. ــ (سلسلة الكتب العلمية؛ 4)

1. الضوء. أ. شمعون، إلياس، مترجم. ب. العنوان. ج. السلسلة: معهد الانماء العربي. سلسلة الكت العلمية؛ 4.

المحتويات

رسالة في البصريات حول الضوء وألوانه ـ الكتاب الأول ـ الجزء الأول

رسالة في البصريات عن الضوء وألوانه ـ الكتاب الأول ـ الجزء الثاني

حول الضوء
وانعكاساته وانكساراته وانحناءاته وألوانه

تنبيه من المترجم

لقد وجدت نفسي ، عند بدء ترجمة هذا الكتاب ، أمام المُعضلة التالية :

رسالة نيوتن في البصريات كتبها العالم الكبير في أوائل القرن الثامن عشر ولم تترجم الى العربية حتى الآن ، فهل اقتبسها بالأسلوب الذي نستخدمه اليوم ، وأصحّح ما ورد فيها من أخطاء علمية على ضوء العلم الحديث ؟ ان فعلت هذا أكون قد قدمت الى القارىء العربي كتاباً صحيحاً سهل القراءة لكنه يخلو من أية فائدة : فأي كتاب علمي موجود بين أيدي طلابنا الثانويين يتخطى بمعلوماته ما ورد في الرسالة المذكورة . لذا توخّيت اتباع الأمانة العلمية والتاريخية ، فترجمت الرسالة كما وردت بأسلوب ذلك العصر ، وبأسلوب نيوتن بالتحديد ، الجافّ والمعقّد في آن ، والذي اشتهر به حتى في عصره ، مردّداً ترداده للأمور ومتأرجحاً بين الدقة العلمية والفرضيات المطروحة ، مستهدفاً من ذلك توضيح المنهجية العلمية التي اتبعها العالم الكبير لأول مرة في تاريخ العلوم ، مستخلصاً النظرية من واقع التجربة ، عكس ما كان يفعل الفلاسفة قبله .

وقد ارتبط أسلوب نيوتن المعقد ، وجمله الطويلة المليئة بالجمل الاعتراضية ، بتعقيد فهمه للموضوع الذي وقف أمام حقيقته لأول مرة ، تعوزه الآلات التجريبية والرياضيات المتطورة وأمور كثيرة نعرفها اليوم بوضوح ولم تكن معروفة في ذلك الحين . فعدم استخدام الجداول العلمية يعقّد الأسلوب ، والترداد مردّه الى التأكيد على الموضوع نظراً لمعارضته كل ما كان مطروحاً من قبل ، وبخاصة الأفكار الفلسفية الشاملة التي لم تكن تعير التجربة والواقع أي اهتمام .

لذا ، فإن القارىء ، وإن وجد الكتاب صعب القراءة غير شائق ، فإنه يجد فيه فائدتين : المنهجية العلمية القيّمة التي وضع نيوتن أسسها وهي ما زالت صالحة حتى يومنا هذا ، وفائدة أخرى تاريخية تريه كيف واجه عالمنا ، ويواجه علماء اليوم أيضاً ،

المعضلات العلمية للمرة الأولى والصعوبة التي تكتنف هذا النـوع من العمل . فمن المفيد أن نعرف أن الحقائق العلمية ، التي أصبحت اليوم بديهات ، لم تصل الينا الاّ بعد كبير جهد وعناء ، يرينا هذا الكتاب جزءاً يسيراً منه .

وقد أبقيت الوحدات ، في هذا الكتاب الأول عن الضوء وأحواله ، كما وردت عند نيوتن ، وكما نرى معادلاتها أدناه ، آملاً أن تسمح لي الظروف باكمال ترجمة الكتابين الباقيين حول هذا الموضوع .

المترجم

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

تقديـــم

ولد اسحق نيوتن عام 1642 م . في قرية ولز ثورب في انكلترا . مات والده قبل شهرين من ولادته وأصبحت أمه أرملة مسؤولة عن طفلها وعن المزرعة الصغيرة التي تملكها ، فأرسلت الطفل اسحق الى المدرسة الابتدائية المجاورة ثم الى معهد قريب من القرية عندما أصبح في الثانية عشرة .

لم تتميز طفولة نيوتن بذكاء خارق بل كان متأخراً عن أترابه في المدرسة ، إلّا أنه كان يمتلك موهبة العمل اليدوي ونزعة الى كل ما هو تقني . فقد أنشأ نموذجاً لطاحونة هوائية وصنع ساعة شمسية وعدة ساعات مائية . وكان أيضـاً يهوى الرسم وجمـع الزهور ونظم القليل من الشعر .

إستدعته أمه عام 1656 الى ولز ثورب للاهتمام بالمزرعة لكنه لم يستطع القيام بذلك أبداً ، فقد كان ينصرف الى القراءة عن شؤون الزراعة . لذا قـرر عمه وليـام ايسكاف ، وهو خريج كامبريدج ، إرساله الى معهد علمي لاستكمال دراستـه ، وهنا بدأت مواهبه الرياضية بالظهور فعلاً .

في تلك الحقبة من الزمن كانت الأوساط الفكرية في أوروبا قـد ملت النظريـة الفلسفية المجرّدة وأخذت تدعو بحماس إلى النتائج المبنيّة على التجارب المخبـرية الحسّية ، والاستناد الى الرياضيات ، أي باختصار كان هنالك جو عام يدعو الى العلوم الصحيحة والدقيقة والاستغناء عن النقاشات النظرية العقيمة .

ويصعب علينـا اليوم تخيّـل الصعوبـات الجمّة التي كـانت تعتـرض العلمـاء الاختباريين في ذلك الزمن . فقد كان على الباحثين صنع آلاتهم بأنفسهم علمـاً بأن التقنية كانت بدائية للغاية ، ولم يكن يندفع الى تطويرها الّا قلة من التقنيين لا يملكون الأموال الكافية لعمل يتطلب مجهودات كبيرة من غير أي مردود مادي ، ممّا خلق جواً

ملائماً لانشاء جمعيات علمية مثل أكاديمية الشمنتو في فلورنسا عام 1657 والجمعية الملكية في لندن عام 1660 وأكاديمية العلوم في باريس عام 1666 .

تعلق نيوتن بهذا الجو المفعم بروح التجربة المخبرية الحسّية ، فتجنّب كلّياً طرح النظريات العامة بل حاول استخلاصها من واقع التجربة . ولقد توصل الى محطات علمية كونت أسساً هامة في تطوير العلوم الرياضية والفيزيائية إن في البصريات أو في علم الميكانيك والفلك وغير ذلك من العلوم . فبين عامي 1665 و 1666 بدأت بذور أفكار ثلاثة تخامر تفكيره لكنه لم يتأكد منها ولم يطرحها الاّ بعد سنوات مضنية من البحث المتواصل والمركّز ، تبلورت فيها هذه الأفكار نظريات شكلت محطات علمية هامة . وأهم هذه المحطات العلمية كانت نظريّتيْ الجاذبية الكونية والألوان، أما النظرية الثالثة فهي رياضية تتعلق بالانتقالات اللامتناهية في الصغر ولم تلق رواجاً كبيراً لأن العالم «لايبنز» كان قد سبقه إلى إعلانها والتعمق بها.

كانت الفوضى تهيمن على علم الألوان قبل نظرية نيوتن . فحتى مطلع القرن السابع عشر كانت تسود هذا المضمار أفكار ارسطاطاليس القائلة بأن الألوان هي مزيج من الضوء ونسب مختلفة من الظلمة. ولقد ردد هذه الأفكار علماء كبار مثل دومينيس (1566-1624) وكيبلر (1571-1630) الذي اعتبر اللون ضوءاً تخفته المواد المختلفة . أما العالم هوك ، وهو من معاصري نيوتن ، فقد كان يؤكد وجود لونين أساسيّين، الأحمر والأزرق . وما الألوان الباقية الاّ مزيج من هذين اللونين ... وحتى اسحق بارو (1630-1677) وهو استاذ نيوتن وأبوه العلمي كان يقول : « تكون المادة بيضاء اللون عندما تحتوي ضوءاً غزيراً ، وسوداء اذا لم تحوِ أي لون ، وحمراء اذا كان نورها قوياً وتقطعه فواصل مظلمة ، وزرقاء اذا بعثت نوراً خفيفاً ، أما اللون الأخضر فهو قريب من الأزرق ، وأما بقية الألوان فهي مزيج من المذكورة سابقاً ... » وقد درس نيوتن نظريات أستاذه بعمق ولم يخالف آراءه بادىء الأمر حتى اكتملت تجاربه المخبرية التي حسمت الموضوع نهائياً . طرح العالم الجديد نظرياته بعد تسلمه مركز أستاذه بارو كأستاذ للرياضيات عام 1669 ولم ينته الجدل حول النظرية الجديدة الاّ حوالى عام 1671 . فقد بيّن نيوتن وشرح وناقش طويلاً حتى أثبت للعالم نظريته المستوحاة من التجربة ، والقاضية بأن الألوان موجودة في الضوء الأبيض نفسه وما يميزها عن بعضها هو قابليتها المختلفة للانكسار داخل المنشور . ونذكر حرفياً ما قاله نيوتن بهذا الشأن :

« يتكون نور الشمس من أشعة تختلف قابليتها للانكسار . ويقابل كل قابلية انكسار معيّنة لون معين والعكس صحيح . فالأشعة الحمراء هي أضعفها انكساراً والبنفسجية أشدها انكساراً ، ونستطيع تركيب اللون الأبيض من الألوان الأخرى ، وما لون الشمس الأبيض الاّ مزيج متناسق من الألوان البدائية » .

ومن بين الانتقادات التي وجهت الى النظرية الجديدة ، لم يحرج نيوتن الاّ العالم هوك الذي كان يركز على الطبيعة الموجية للضوء بينما كان نيوتن يفهمه أشعة وهمية تارة ويطرح فكرة كونه جسيمات مادية تارة أخرى . ونحن نعلم اليوم أن اعتبار الضوء شعاعاً وهمياً عمل مستحب ويحل الكثير من المشاكل اذا أردنا دراسة تصرف الضوء دون الغوص في تفاصيله الفيزيائية ودون تفسير عمليتي التداخل interference والانعراج diffraction. ومن جهة أخرى نعلم أن الضوء موجة وحبيبات طاقة (أو مادة) في آن معاً. وقد أظهرت التجارب الحديثة صحة هاتين الطبيعتين معاً وإن كان ذلك يبدو للوهلة الأولى تناقضاً. لكن الأمور لم تكن واضحة في ذلك العصر، ومن هنا نشأت المشكلات واحتدّت النقاشات. أما شرح نيوتن لقوس القزح فقد جاء أصح من نظريات من سبقوه، مثل ديكارت، وأوضح، وهنالك نظريات أخرى لم يستطع عالمنا الدفاع عنها بقوة، ولكن التطور العلمي الحديث أظهر صحة انطلاقتها.

وفي مجال التجاذب بين الأجسام ، درس نيوتن أولاً نظرية كيبلر لجهة التجاذب بين الشمس والكواكب المحيطة بها ، وبعد أبحاث امتدت حوالى عشرين عاماً توصل الى قانون التجاذب الكوني : « تتجاذب جميع الأجسام في الطبيعة بقوة تتناسب طردياً مع كتلها وعكسياً مع مربّع المسافة التي تفصل بينها » .

$$F= \frac{M_1 . M_2}{D^2}$$

حيث : M_1 ترمز الى كتلة الجسم الأول .
M_2 ترمز الى كتلة الجسم الثاني .
D ترمز الى المسافة الفاصلة بين الجسمين .
F ترمز إلى قوة التجاذب بين الجسمين.

ومن الصعب علينا اليوم تصور الصعوبة التي اعترضت برهان هذه النظرية ، وقد دار حولها النقاش حامياً يوم اعلانها ، لكنها كانت فعلاً محطة في تاريخ تطور العلم الحديث . وكم من مرة أعاد نيوتن صياغة نظريته ، وكم من مرة غيّر رأيه حتى توصل الى تركيز كتلة الجسم في مركز ثقالته center of gravity ، إلى ما هنالك من صعوبات ذهنية نتحقق منها عندما نطّلع على مخطوطاته الأصلية المؤلفة من حوالى ثمانين رسالة بهذا الخصوص تبادلها مع صديقه روجيه كوت. ولقد فرضت الحقيقة نفسها في نهاية الأمر ودَحَضت نظرية نيوتن عن التجاذب المتبادل بين الأجسام كل ما سبقها من نظريات وبقي العلماء يعتمدونها الى أن ظهرت مؤخراً نظرية اينشتاين التي تحمل طابعاً أكثر شمولية ولكنها لا تتناقض معها.

الى جانب ما ذكرنا ، اهتم نيوتن بالكيمياء والكهرباء والتاريخ وغيرها من المعارف المتنوعة ، لكن عمله المتواصل وخصوماته الدائمة مع منافسيه من العلماء سببت له عام 1639 انهياراً عصبياً وفقداناً للذاكرة وضعفاً في تركيز أفكاره ، عاد وشفي منها تماماً . وبعد فترة من النقاهة عيِّن مسؤولاً في مركز حكومي لصك العملات عام 1699، واتخذته الأكاديمية العلمية الفرنسية عضواً أجنبياً مشاركاً فيها. وفي عام 1703 أصبح رئيساً للجمعية الملكية البريطانية وبقي في هذا المركز حتى وفاته. وفي عام 1705 أسبغت عليه الملكة آن وساماً من درجة فارس ولقب «سير».

كان نيوتن على الصعيد الشخصي صديقاً وفياً وكريماً تجاه ذويه وتجاه كل من يطلب منه خدمة أو مالاً ، وكان شديد التواضع مرهف الاحساس ولطيفاً يتأقلم مع جميع الظروف المستجدة ، الاّ أنه لم يكن يتقبل النقد العلمي والنقاش النظري نظراً لثقته الكبيرة بنفسه ولعدم محبته للتظاهر والتعالي . وقد قال مرة عن نفسه : « اذا استطعت أن أنظر الى أبعد فالفضل يعود الى العمالقة الذين سبقوني » . وقد كان يردد دوماً أن ما فعله في حياته زهيد أمام الحقيقة ، ويشبّه أعماله بمجرد لهو على الشاطىء بينما الحقيقة تقبع في وسط المحيط، وكم كان نيوتن محقاً في ذلك !

التنبيه الأول للمؤلف

بمناسبة الطبعة الانكليزية الأولى المنشورة عام 1704 م

نزولاً عند رغبة بعض أعضاء الجمعية الملكية ، تمت كتابة جزء من هذه الرسالة ، عن الضوء وألوانه ، عام 1675 م ، ثم أُرسل هذا الجزء الى أمانة الجمعية وقرىء في مجامعها . ولكي أجعل النظرية كاملة ، أضفت ، بعد اثني عشر عاماً ، ما تبقى منها ، ما عدا الكتاب الثالث والاقتراح الأخير من الكتاب الثاني ، اللذين أعمل على تجميعهما من بعض الدفاتر المتفرقة . ولقد أرجأت حتى اليوم طباعة هذا الكتاب كي لا أدخل نزاعات أو أخوض مناقشات حوله ، ولولا إلحاح بعض الأصدقاء لكنت أرجأت ذلك مدة أطول . ومن جهة أخرى فإن بعض كتاباتي السابقة حول هذا الموضوع لم تكن كاملة لكوني وضعتها قبل أن أنهي جميع الاختبارات اللازمة ، الموجودة في هذا المؤلف ، والتي أرْضت فضولي خاصة فيما يتعلق بقواعد الانكسار وتركيب الألوان .

إنني أنشر هنا (بالانكليزية طبعاً) ما أعتقده صالحاً للنشر ، وآمل الاّ تترجم هذه الرسالة الى أية لغة أخرى بدون رضاي .

لقد حاولت أن أشرح الهالات الملوّنة التي تظهر أحياناً حول الشمس والقمر ، ولكوني لم أقم بالعدد الكافي من عمليات المراقبة فإنني أترك للآخرين مهمة دراسة هذه الظاهرة بشكل أدق وأعمق . ومن جهة أخرى فإنني لم أتم مادة الكتاب الثالث لأنني لم أنفّذ جميع الاختبارات التي كنت أنوي القيام بها عندما بدأت بحوثي هذه ، ولم أُعِدْ بعض التي نفذتها حتى أقتنع كلياً بنتائجها . ان كل ما أبتغيه من طرح هذا المؤلف أمام الناس هو أن أشاركهم مفاهيمي الخاصة ، تاركاً للآخرين مهمة دراسة ما بقي غامضاً .

التنبيه الثاني للمؤلف

بمناسبة الطبعة الانكليزية الثانية المنشورة عام 1717 م

لقد حذفت من الطبعة الثانية هذه جميع الرسالات الرياضية التي كانت منشورة في آخر الطبعة الأولى ، لكونها لا تمت بصلة الى رسالة في البصريات . وقد أدخلت بعض الأسئلة الجديدة في آخر الكتاب الثالث ، ولكي أُظهر أن الجاذبية ليست خاصية من خاصيات الأجسام فقد أضفت سؤالاً خاصاً حول سبب الجاذبية ومفهومها . وإن جاء ما طرحته في هذا السؤال تعبيراً عمّا أريد شرحه فإنني عنيت ذلك عمداً لكوني لم أقم بالاختبارات اللازمة لأقنع نفسي كلياً بما أفكر فيه .

رسالة في البصريات
حول الضوء وألوانه

الكتـاب الأول
الجزء الأول

تعريفات

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

ليس هدفي، في هذا المؤَلَّف، أن أشرح خاصيّات الضوء بواسطة الفَرْضيات، بل أن أعرضها مجردة لأبرهنها بالتعليل والاختبارات. لذلك سأبدأ باقتراح التعريفات والموضوعات التالية:

تعريفات

تعريف ١

أعني بأشعة الضوء أصغر أجزائه ، المتتالية منها على الخطوط ذاتها أو المتقاربة منها على خطوط مختلفة .

فمن البديهي أن الضوء يتألف من أجزاء متتالية وأخرى متقاربة : وذلك لأننا نستطيع ، في المكان ذاته ، أن نوقف الجزء الوارد في وقت معيّن ، وأن ندع الجزء الوارد بعده مباشرة يمرّ . كذلك نستطيع أن نوقف جزءاً منه ، في مكان معين ، وندع جزءاً آخر يمر في الوقت عينه في مكان آخر . ولا يمكن للجزء الذي أوقفناه أن يكون هو نفسه الذي سمحنا له بالمرور .

لذلك فإن ما أدعوه شعاعاً ضوئياً إنما هو أصغر جزء نستطيع ايقافه بصرف النظر عن باقي الضوء ، أو هو الذي يستطيع أن يمتد لوحده ، أو أن يفعل شيئاً أو ينفعل بشيء ما لوحده ، دون أن يكون لباقي الضوء أي دور في ذلك .

تعريف II

إن انكسارية refractivity أشعة الضوء هي قابلية انكساره أو تحوله عن مجراه، عند مروره من جسم أو وسط مادي إلى آخر. وبقدر ما تكبر أو تصغر قابلية تحوّل أشعة، ذات ورود incidence معيّن، عن مجراها، تكبر انكساريتها أو تصغر.

يفترض الرياضيون عادة أن أشعة الضوء خطوط تمتد من الجسم المضيء إلى الجسم المضاء، وأن انكسار هذه الأشعة هي التواء inflexion هذه الخطوط أو انقطاعها، عند مرورها من وسط إلى آخر. يمكننا أن نفهم الأشعة وانكساراتها من وجهة النظر هذه، لو كان الضوء ينتشر بشكل آنيّ. غير أن دليلاً، نستنتجه من معادلات الأوقات التي نرصد فيها حصول خسوف eclipse أقمار كوكب المشتري، يظهر لنا أن تحرك الضوء غير آني، ويلزمه سبع دقائق تقريباً ليصل من الشمس الينا. لذلك عرّفت الأشعة والانكسار بتعابير عامة تصلح للضوء في كلتا الحالتين.

تعريف III

إن انعكاسية reflexibility الأشعة هي قابلية انعكاسها أو ارتدادها عن الوسط الذي تقع على سطحه، إلى الوسط الذي انطلقت منه. وبقدر ما يكون الارتداد سهلاً، تكون الأشعة قابلة للانعكاس.

هكذا ، ولدى مرور الضوء من الزجاج الى الهواء ، وبازدياد انحنائه على السطح المشترك للزجاج والهواء ، يبدأ أخيراً بالانعكاس كلياً عن هذا السطح : إن الجزء من الأشعة الذي ينعكس ، بنفس زاوية الورود ، بكمية أكبر ، أو يبدأ بالانعكاس كلياً اذا زاد انحناؤه ، هو الجزء الأكثر قابلية للانعكاس .

تعريف IV

إن زاوية الورود هي الزاوية التي يقيمها الخط الممثل للشعاع الوارد مع الخط العمودي على السطح العاكس أو الكاسر ، وذلك في نقطة الورود .

تعريف V

إن زاوية الانعكاس ، أو الانكسار ، هي الزاوية التي يقيمها الخط الممثل للشعاع المنعكس أو المنكسر ، مع الخط العمودي على السطح العاكس أو الكاسر ، في نقطة الورود .

تعريف VI

إن جيب الورود أو الانعكـاس أو الانكسار ، هـو جيب زاوية الورود أو زاويـة الانعكاس أو زاوية الانكسار .

تعريف VII

إنني أدعو ضوءاً بسيطاً، متجانسـاً homogeneous ومتشابهـاً، ذلك الـذي تكـون قابليـة انكسـار أشعتـه متسـاويـة، وأدعـو ضـوءاً مـركّبـاً، غـير متجـانس heterogeneous أو متشابه، ذلك الذي تكون قابلية انكسار جـزء من أشعته أكبـر من قابلية انكسار جزء آخر منها.

إنني أدعو الضوء الأول متجانساً ، دون أن أقصد ذلك على جميع الصعد ، بل لأن الأشعة الملائمة بالنسبة لقابلية انكسارها ، هي ملائمة على الأقل ، بالنسبة لجميع الخاصيات الأخرى التي سأدرسها في هذا المؤلف .

تعريف VIII

إنني أدعو ألوان الأضواء المتجانسة أضواء بدائية متجانسة وبسيطة . كما أنني ألقّب ألوان الأضواء غير المتجانسة بالألوان المركّبة وغير المتجانسة . وسنرى لاحقاً أن هذه الأخيرة هي تركيب من ألوان الأضواء المتجانسة .

موضوعات

موضوعة I

إن زوايا الورود والانعكاس والانكسار موجودة في مستوٍ واحد .

موضوعة II

تساوي زاوية الانعكاس زاوية الورود .

موضوعة III

إذا ارتدّ شعاع مكسور مباشرة الى نقطة الورود ، فإن انكساره هذا سيتبع تماماً خط الشعاع الوارد .

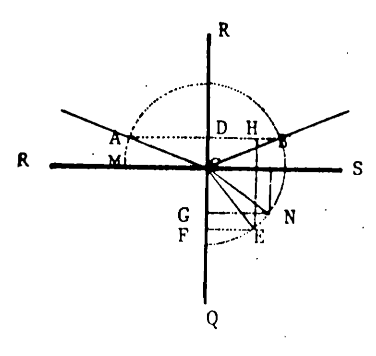
موضوعة IV

عند مرور الشعاع من وسط الى وسط أكثف، يقرّبه الانكسار من الخط الرأسي ، ممّا يجعل زاوية الانكسار أصغر من زاوية الورود .

موضوعة V

هنالك علاقة معينة ، صحيحة تماماً أو شديدة التقارب ، بين جيب الورود وجيب الانكسار. لذلك، اذا عرفنا هذه العلاقة في حالة انحناء معيّن للشعاع الوارد ، فإننا نستطيع معرفتها في جميع حالات الانحناءات الأخرى ، ومن هنا نستطيع تحديد الانكسار في جميع حالات الورود على الجسم الكاسر نفسه . وهكذا عندما نريد مثلاً

تحديد انكسار الضوء الأحمر في جميع حالات وروده من الهواء الى الماء أو الى الزجاج ، يكفينا أن نعرف أنه لدى حدوث الانكسار من الهواء الى الماء ، يكون جيب ورود شعاع من الضوء الأحمر بالنسبة الى جيب انكساره كنسبة 4 إلى 3 ، وأما اذا حدث الانكسار من الهواء الى الزجاج فيكون الجيبان المذكوران بنسبة 17 إلى 11 . وتكون هذه النسب مختلفة في حالة ضوء من ألوان أخرى لكن الاختلاف هذا ضعيف لدرجة أنه يندر أن نضطر لأخذه بعين الاعتبار .

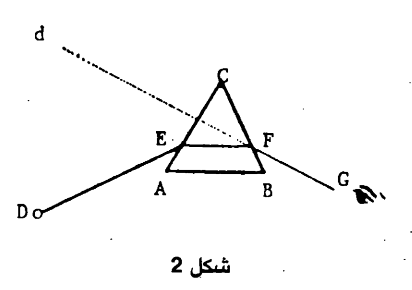


شكل 1

لنعتبر أن RS يمثل سطح مياه راكدة، وأن C هي نقطة الورود حيث ينعكس أو ينكسر شعاع آت عبر الهواء، من النقطة A على امتداد الخط AC: إذا أردت أن أعرف أين سيذهب هذا الشعاع بعد انعكاسه أو انكساره، فإنني أقيم على سطح الماء، من نقطة الورود C، الخط الرأسي CP ممتداً إلى الأسفل حتى Q، وأستنتج تبعاً للموضوعة الأولى، أنه يجب على الشعاع المنعكس أو المنكسر أن يوجد في مكان ما في مستوي زاوية الورود ACP. لذلك أسقط على الرأسي CP جيب الورود AD، ولمعرفة الشعاع المنعكس أمدّ AD حتى B كي يكون DB مساوياً لـ AD، وأخط CB: إن هذا الخط CB هو الشعاع المنعكس، وهكذا تكون زاوية الانعكاس BCP وجيبها BD مساويين لزاوية الورود وجيبها، كما هو مفروض في الموضوعة الثانية. أما إذا أردت معرفة الشعاع المنكسر، فإنني أمدّ AD حتى H، بحيث تكون نسبة DH إلى AD كنسبة جيب الانكسار الى جيب الورود، أي، (في حالة الضوء الأحمر) بنسبة 3 إلى 4. وبعد أن أرسم، في المستوي ACP، دائرة C وشعاعها CA، أرسم خطاً، HE، موازياً للعمودي CPQ، يقطع الدائرة في نقطة E، ثم أخط CE، فيكون هذا خط الشعاع المنكسر. لأننا إذا أسقطنا EF عمودياً على الخط PQ، يصبح هذا الخط EF جيب انكسار الشعاع CE، وتصبح زاوية الانكسار ECQ. لكن هذا الجيب EF يساوي DH، فتكون بالتالي نسبته الى جيب الورود AD، كنسبة 3 إلى 4.

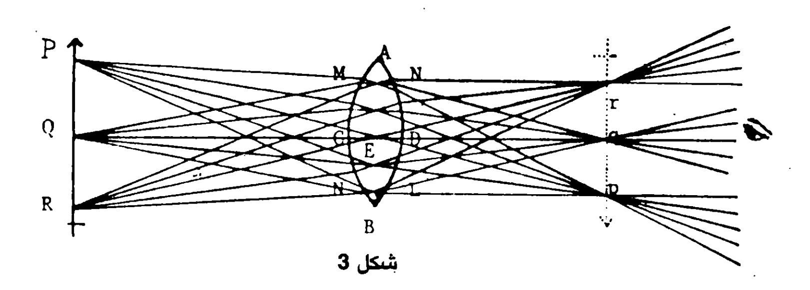
ولو أخذنا أيضاً منشوراً من الزجاج (أي قطعة زجاجية تنتهي بمثلثين

متساويين، متشابهين، متوازيين، وموضوعين بشكل متشابه، ولها ثلاثة أوجه مستوية ومصقولة بشكل جيد، وتلتقي عند ثلاثة خطوط متوازية ممدودة من الزوايا الثلاث لأحد المثلثين الى الزوايا الثلاث المقابلة في المثلث الآخر)، وسألنا عن انعكاس الضوء العابر لهذا المنشور:



شكل 2

لنعتبر ACD مستوياً يقطع هذا المنشور عرضياً عند خطوطه أو حدوده الثلاثة المتوازية وفي المكان الذي يمرّ فيه الضوء عبر المنشور، ولنعتبر DE الشعاع الذي يقع على الوجه الأول AC للمنشور، حيث يدخل الضوء في الزجاج، عندها نستخدم نسبة جيب الورود الى جيب الانكسار، المساوية 17 إلى 11، فنحصل على أول شعاع مكسور. ثم نأخذ هذا الأخير كشعاع يقع على الوجه الثاني للزجاج BC، حيث يخرج الضوء، فنحصل على الشعاع المكسور الثاني FG باستخدام نسبة جيب الورود الى جيب الانكسار، أي 11 إلى 17. لأنه إذا كانت نسبة جيب الورود، من الهواء إلى الزجاج، الى جيب الانكسار، بالعكس، مساوية 11 إلى 11، تكون نسبة جيب الورود، من الزجاج الى الهواء، الى جيب الانكسار، بالعكس، مساوية 11 إلى 17، تبعاً للموضوعة الثالثة.



شكل 3

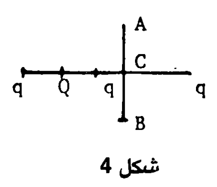
وبذات الطريقة تقريباً، لنفرض أن ACBD() يمثل قطعة زجاج محدّبة كرويّاً من جهتيها (تسمّى عادة عدسة lens، كالمرآة المُحْرقة، أو كزجاج النظارات العادية، أو كجسميّة object glass المقراب)، ولنحاول أن نعرف كيف ينكسر الضوء الآتي

من نقطة مضيئة Q لنقع على هذا الزجاج. لنعتبر QM شعاعاً يقع على أي نقطة M من السطح الكروي الأول ACB فعند إقامتنا الخط العمودي على الزجاج في النقطة M، نحصل على أول شعاع مكسور MN، بواسطة نسبة الجيبين 17 إلى 11. وعند خروج هذا الشعاع من الزجاج في نقطة N، نحصل على الشعاع المكسور الثاني Nq بواسطة نسبة الجيبين 11 إلى 17. وبذات الطريقة نستطيع دراسة الانعكاس حيث تكون العدسة محدبة convex من جهة، ومستوية plane أو مقعّرة concave من الجهة الأخرى، أو مقعّرة من الجهتين.

موضوعة VI

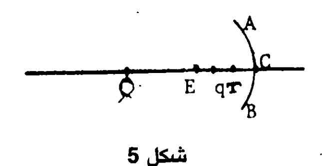
إن الأشعة المتجانسة ، الآتية من نقاط مختلفة من الجسم ، والتي تقع عمودية ، (أو شبه عمودية) على سطح مستوٍ أو كروي ، عاكس أو كاسر ، تتباعد بالتالي الى العدد ذاته من النقاط ، أو تصبح موازية للعدد ذاته من الخطوط ، أو تتقارب الى العدد ذاته من النقاط ، وذلك بدقة كاملة ، أو من دون خطأ محسوس . ويحصل الشيء ذاته اذا انعكست الأشعة أو انكسرت بشكل متتال بواسطة سطحين أو ثلاثة أو أربعة ... الخ ، مستوية أم كروية .

من الممكن تسمية النقطة التي تتباعد الأشعة منها، أو تتقارب اليها، بؤرة هذه الأشعة focus. وبما أن بؤرة الأشعة الواردة معروفة، يمكننا ايجاد بؤرة الأشعة المنعكسة أو المنكسرة بدراسة انعكاس أو انكسار أي شعاعين بالطريقة المذكورة أعلاه، أو بطريقة أسهل كالتالي:



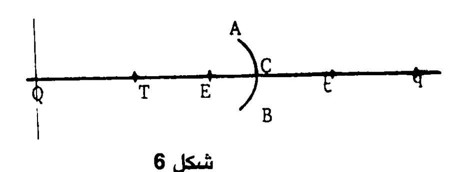
شكل 4

الحالة الأولى: لنعتبر ACB المستوي الذي يحدث عنده الانعكاس أو الانكسار، وQ بؤرة الأشعة الواردة، وQqc خطاً عمودياً على هذا المستوي. إذا مددنا هذا الخط العمودي حتى q بحيث يصبح qc مساوياً لـ QC، تصبح النقطة q بؤرة الأشعة المنعكسة. أما إذا أخذنا qc من جهة QC، بالنسبة للمستوي، وكان إلى QC كنسبة جيب الورود إلى جيب الانكسار، تصبح النقطة q بؤرة الأشعة المنكسرة.



شكل 5

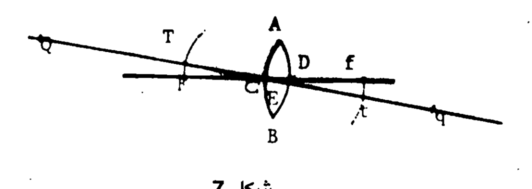
الحالة الثانية : لنعتبر ACD سطحاً عاكساً لكرة ما مركزها E . لنقسم شعاع هذه الكرة قسمين متساويين (EC مثلاً) في T . اذا أخذنا على هذا الشعاع ، ومن جهة T ، النقطتين Q و q ، بحيث تكون TQ و TE و Tq متناسبات متواصلة ، واذا افترضنا أن النقطة Q هي بؤرة الأشعة الواردة ، عندها تصبح النقطة q بؤرة الأشعة المنعكسة .



شكل 6

الحالة الثالثة : لنعتبر ACB سطحاً كاسراً لكرة ما مركزها E . لنأخذ ، على شعاع من هذه الكرة مثل EC ، ممتداً من الجهتين ، قسمين متساويين ET وCt ، بحيث يكون كلّ منهما بالنسبة لهذا الشعاع ، كأقل جيب ورود وانكسار الى فرق هذين الجيبين . بعد ذلك، اذا وجدنا على الخط ذاته نقطتين Q و q ، بحيث يكون TQ الى ET بنسبة Et الى tq ، آخذين tq من t وباتجاه معاكس لاتجاه TQ بالنسبة الى T ، عندئذ تصبح النقطة q بؤرة الأشعة المكسورة ، اذا كانت Q بؤرة الأشعة الواردة .

ونستطيع ، بالوسيلة ذاتها ، أن نجد بؤرة الأشعة المنعكسة أو المكسورة مرتين أو أكثر .



شكل 7

الحالة الرابعة: لنعتبر ACBD عدسة كاسرة، محدّبة أو مقعّرة كروياً، أو ان احدى جهتيها مستوية: ليكن CD محورها، أي الخط الذي يقطع سطحيها عمودياً،

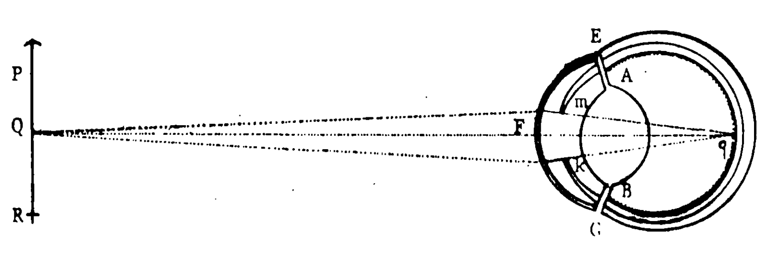
ويمـرّ عبر مـركزي الكـرتين، ولتكن F وf، عـلى هذا المحـور الممدّد، بؤرتي الأشعـة المنكسرة اللتين نحصل عليهما كما سلف وذكرنا سابقاً، عندما تكون الأشعة الواردة من جهتي العدسة موازية لنفس المحور، ولنرسم دائرة على القطر Ff الذي تقطعـه E بالتساوي. ولنفرض الآن أن نقطة ما، Q، هي بؤرة الأشعة الواردة. ولنخط QE الذي يقطع الدائرة المذكورة في T، وt، ولنأخذ الآن tq بالنسبة الى tE، كما هـو te، أو TE، إلى TQ. ليؤخذ tq من الجهة المعاكسة لمكـان وجود TQ بـالنسبة الى T، فتصبـح q بؤرة الأشعة المنكسرة بدون أي خطأ محسوس، شرط ألا تكون النقطة Q كثيرة البعد عن المحـور وألّا تكون العـدسة كبـيرة، بحيث يقع جـزء من الأشعة عـلى السطـوح الكاسرة بانحناء كبير.

إننا ، بعمليات من هذا النوع ، وفي حال أن البؤرتين محددتان ، نستطيع تحديد السطوح العاكسة أو الكاسرة ، وبالتالي انشاء عدسة تمرّر الأشعة أو تسوقها من أو الى المكان الذي نريد .

وهكذا تُختصر هذه الموضوعة كالتالي : اذا وقعت الأشعة على مستوٍ ما ، أو على عدسة أو سطح كروي ، واذا كانت هذه الأشعة تنطلق ، قبل تفرّقها ، من نفس النقطة Q ، أو باتجاه نفس النقطة Q ، فإنها بعد أن تنعكس أو تنكسر ، ستجري من أو الى النقطة التي وجدناها بواسطة القواعد السابقة . واذا جرت الأشعة الواردة من نقاط مختلفة Q ، أو باتجاه نقاط مختلفة Q ، فإن الأشعة المنعكسة أو المنكسرة سوف تجري من عدد مماثل من النقاط q ، أو باتجاه عدد مماثل من النقاط q ، نجدها بواسطة القواعد نفسها. إننا نعرف اذا كانت الأشعة المنعكسة أو المنكسرة تجري من النقطة q أو اليها ، بمعرفتنا لموقع هذه النقطة : فإذا كانت هذه النقطة q ، في جهة السطح العاكس أو العدسة الكاسرة، التي توجد فيها النقطة Q، وإذا كانت الأشعـة الواردة المنكسرة من هذه النقطة q بـالذات. وإذا كـانت الأشعة الـواردة تجري بـاتجاه Q، فسـوف تجري الأشعة المنعكسة من النقطة q، أما المنكسرة فباتجاه النقطة q ذاتها. أما إذا كانت النقطة q من الجهة الأخرى من السطح، فيحدث عكس ما قلناه تماماً.

موضوعة VII

إن الأشعة الخارجة من جميع نقاط جسم ما تتلاقى ، في مكان ما ، في ذات العدد من النقاط ، اذا جعلناها متقاربة بواسطة الانعكاس أو الانكسار ، وهي تقيم في هذا المكان رسماً للجسم المذكور ، على أي جسم أبيض تقع عليه .



شكل 8

وهكذا ، لنعتبر PR جسماً خارج المنزل ، و AB عدسة موضوعة في ثقب نافذة غرفة مظلمة ، بحيث إن هذه العدسة تجعل الأشعة الآتية من نقطة ما Q من هذا الجسم تتقارب converge وتتلاقى في النقطة q: إذا أمسكنا بورقة بيضاء في النقطة q، لنتلقّى الضوء، فإن صورة الجسم PR ستظهر على هذه الورقة بشكل الجسم ولونه الفعلي. كما أن الضوء الآتي من النقطة Q يذهب الى النقطة q، كذلك يذهب الضوء الآتي من النقاط الأخرى P وR من الجسم الى العدد ذاته من النقاط المقابلة P وr (وهذه بديهة تظهرها الموضوعة السادسة)، بحيث إن كل نقطة من الجسم تضيء نقطة مقابلة لها من الورقة، وتقيم فيها بهذه الطريقة، صورة مشابهة تماماً للجسم، شكلاً ولوناً، وبفارق واحد هو أن الصورة تكون معكوسة. هذا هو أساس هذا الاختبار البسيط الذي يتوقف على جعل صور الأجسام الخارجية ترتسم على حائط أو على صفحة من الورق الأبيض، في غرفة مظلمة.

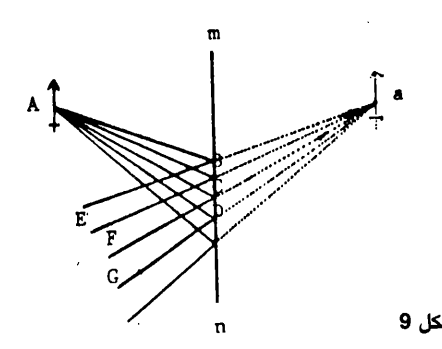
كذلك عندما ننظر الى جسم PQR ، فإن الضوء الذاهب من نقاط هذا الجسم المختلفة يتعرض الى انكسارات من هذا النوع، عند مروره في غشاء العين ورطوبتها الشفافة (أي في الغشاء الخارجي EFG الذي ندعوه قرنية cornea، وفي الرطوبة البلورية AB أو العدسة الموجودة بعد البؤبؤ mk)، ثم يتقارب ليتلاقى في العدد نفسه من النقاط، في قعر العين، ويرسم صورة الجسم على الغشاء الذي يغطي قعر العين والمدعو بالشبكيّة retina . لأن المشرحين، عندما ينزعون الغشاء الخارجي السميك من قعر العين، والمسمّى بالبياض، يستطيعون أن يروا عبر أغشية أرقّ، صور الأجسام المرسومة فيها، وذلك بوضوح كبير. إن هذه الصور هي التي تسبّب الرؤية عندما تصل انطباعاتها الى الدماغ متنقلة عبر ألياف الأعصاب البصرية. فإذا كانت هذه الصور كاملة أو ناقصة فإننا نرى الجسم كاملاً أو ناقصاً. وإذا لوّنت العين بلون خاص، كما في حالة داء اليَرقان jaundice ، بحيث تصبح الصور المرسومة في قعر العين ملوّنة باللون المذكور، فإن جميع الأجسام، في هذه الحالة، تبدو بهذا اللون. أما إذا أصبحت رطوبة العين جافة، مع تقدم العمر، بحيث تجعل عند تقلّصها القرنية والرطوبة البلّورية مسطحة أكثر من السابق، فإن أشعة الضوء

لا تنكسر ما يكفي كي تتّحد في قعر العين بـل في مكان مـا خلفه، وبـالتالي فـإن هذه الأشعة ترسم في قعر العين صـورة مشوشـة، فيظهر الجسم مشـوشاً بنفس درجـة تشوش الصورة. من هنـا يأتي سبب ضعف نظـر الأشخاص المسنّـين، وهكذا نفهم كيف تصحح النظارات هذا العيب. لأن هذه الـزجاجـات المحدّبـة تعوّض النقص في تحديب العين وتزيد الانكسار ممّا يجعل الأشعة أكثر تقارباً ويسمح لها بالاتحاد من جديد في قعر العين بشكل واضح، وذلك عندما تكون درجة تحديب النظارات مناسبة. ويحدث العكس تماماً عند الذين تكون رؤيتهم قصـيرة لأن أعينهم كثيرة التحـديب. لأن الانكسار، في هذه الحالة، يكـون أكبر من المفـروض فتتقارب الأشعـة وتتّحد في العين قبل أن تصل إلى قعرها، وبالتالي تصبح الصورة المرسومة في قعـر العين قليلـة الوضوح، كذلك الرؤية الناجمة عنهـا، إلّا إذا كان الجسم شـديد القـرب من العين بحيث يُرْجِع مكان تجمع الأشعـة المتقاربـة إلى قعرهـا، أو إذا صَحَّح تـدوير العـين الكبير وأُنقصت الانكسارات بواسطة زجـاجة مقعّـرة ذات درجة تقعـير مناسبـة، أو أخيراً إذا ازداد تسطيح العين مع تقدم السن حتى تأخـذ شكلاً منـاسباً: لأن ذوي الرؤية القصـيرة يرون الأجسـام البعيدة بشكـل أوضح، عنـد كهولتهم، ولهـذا يظن الناس أن رؤيتهم تدوم مدة أطول.

موضوعة VIII

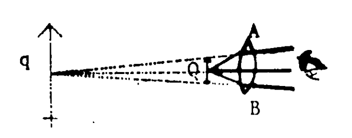
إن الجسم المـرئي بالانعكـاس أو بالانكسـار يظهر في المكـان الـذي تتبـاعـد diverge منه الأشعة بعد آخر انعكـاس أو انكسار، في الـوقت الذي تقـع فيه هـذه الأشعة على عين المشاهد.

اذا نظرنا الى الجسم A منعكساً على مرآة mn ، فسوف لا يظهر في مكانه الحقيقي A ، لكن خلف المرآة في النقطة a التي تتباعد منها أية أشعة AB ، AC ، أو AD ، تكون قد انطلقت من نفس النقطة من الجسم وانعكست في النقاط B ، C ، أو D ، ذاهبة من المرآة الى E ، F ، أو G حيث تقع على عين المشاهد . وذلك لأن هذه الأشعة



شكل 9

ترسم الصورة ذاتها ، في قعر العين ، أكانت آتية من جسم موضوع فعلياً في a أم مرئي بواسطة المرآة ، ويتكون أي نوع من الرؤية تبعاً لمكان هذه الصورة وشكلها .



شكل 10

وهكذا يظهر الجسم Q عبر العدسة AB ، في النقطة q التي تتباعد الأشعة منها لدى ذهابها من العدسة الى العين . وهنا يجب علينا أن ننبِّه الى أن صورة الجسم التي نراها في q هي أكبر أو أصغر من الجسم نفسه الموجود في Q ، بنسبة بعد الصورة عن العدسة ، أو قربها اليها ، الى بعد الجسم Q عن هذه العدسة . واذا نظرنا الى الجسم عبر اثنتين أو أكثر من الزجاجات السابقة ، محدّبة أو مقعّرة ، فإن كل زجاجة تنشىء صورة جديدة ، ويظهر الجسم في مكان الصورة الأخيرة وبكبرها . ان ملاحظتنا هذه هي في أساس شرح نظرية المجهر microscope والمقراب telescope. لأن هذه النظرية لا ترتكز على أكثر من وصف زجاجات منحوتة بشكل يجعل الصورة الأخيرة، لأي جسم كان، واضحة وممتدة ومضاءة بأكبر قدر ممكن.

لقد أعطيت ، في هذا القدر القليل من الموضوعات وشروحها ، موجزاً لما هو معالج في البصريات حتى الآن . أما بالنسبة لما بقي لدي من شروح ، فسوف أكتفي بالاقرار ،مبدئياً، بكل ما اتفق عليه عموماً . ان ما رأيناه حتى الآن يصلح مدخلاً بالنسبة لقرّاء ذوي فكر صحيح ونافذ ، حتى لو لم يكونوا من الغائصين بالبصريات : علماً بأن الذين ألفوا هذا العلم واستخدموا زجاجات النظّارات ، سيفهمون ما يتبع بسهولة أكبر .


قضايا

القضية الأولى

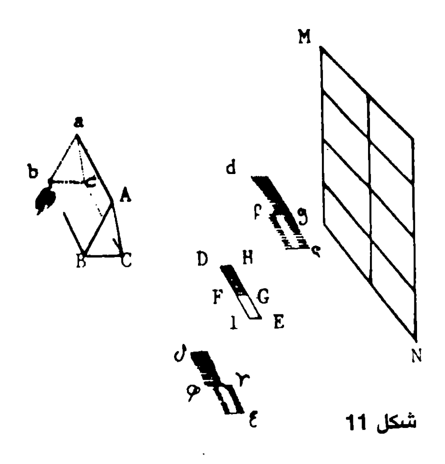
مبرهنة 1

«تختلف درجة انكسارية أشعة الضوء باختلاف ألوانها».

(إثبات مبني على التجارب)

التجربة الأولى: لقد أخذت قطعة من الورق الأسود، المتطاول oblong المتين، تنتهي بجهات متوازية، وميّزت بين نصفيها بخط عرضي مستقيم مرسوم عمودياً من جهة إلى أخرى. ولوّنت أحد النصفين بالأحمر والآخر بالأزرق. كانت الورقة شديدة السواد والألوان قاتمة وسميكة، حتى تكون الظاهرة محسوسة أكثر. كنت أنظر إلى هذه الورقة عبر منشور prism من الزجاج الصلب كانت جهتاه، اللتان يمرّ الضوء عبرهما الى العين، مستويتين ومصقولتين جيداً وتقيم بينهما زاوية 60 درجة تقريباً والتي أدعوها زاوية المنشور الكاسرة. وبينما كنت أنظر الى هذه الورقة، كنت أمسك بها مع المنشور أمام نافذة بحيث كانت جهتا الورقة موازيتين للمنشور، وكانت هاتان الجهتان والمنشور موازية للأفق، كذلك الخط الذي يعترضهم، وبحيث كان الضوء الآتي من النافذة الى الورقة يقيم مع الورقة زاوية مساوية للتي يقيمها الضوء المنعكس عن هذه الورقة الى العين مع الورقة نفسها. وخلف المنشور، كان حائط الغرفة تحت النافذة مغطى بحرام أسود، وكان هذا الحرام كلياً في الظلمة، حتى لا ينعكس من هنا أي ضوء يمرّ من حدود الورقة الى العين ويختلط بضوء الورقة مما يجعل الظاهرة أقل وضوحاً. بعد ترتيب الأشياء بهذا الشكل وجدت أنه إذا أردنا زاوية المنشور الكاسرة الى الأعلى، بحيث تبدو الورقة مرتفعة الى الأعلى بواسطة الانكسار، فإن النصف الأزرق من الورقة سيرتفع بواسطة الانكسار أكثر من النصف الأحمر. لكننا إذا أدرنا إلى الأسفل زاوية المنشور الكاسرة، بحيث يُظهر الانكسار الورقةَ منقولة الى الأسفل، فإن النصف الأزرق سيكون منقولاً الى الأسفل

أكثر قليلاً من النصف الأحمر. وهكذا فإن الضوء الآتي الى العين من نصف الورقة الأزرق، عابراً المنشور، يتعرض في الحالتين المذكورتين الى انكسار أكبر من انكسار الضوء الآتي من النصف الأحمر، ويكون بالتالي أكثر قابلية للانكسار.

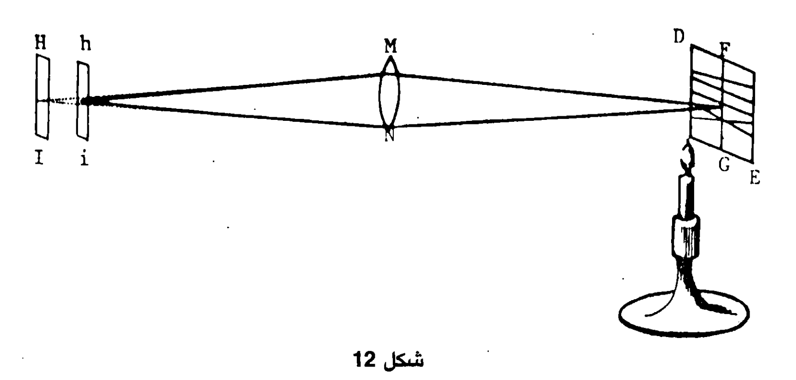


شكل 11

شرح : في الشكل الحادي عشر ، يمثل MN النافذة ، و DE الورقة المنتهية بالجهات المتوازية DI و HE وبالخط العرضي FG الذي يقسمها الى نصفين ، احدهما أزرق قاتم DG ، والآخر أحمر قاتم FE . ويمثل BAC cab المنشور الذي تلتقي مستوياته الكاسرة AB ba و AC ca على حدّ الزاوية الكاسرة Aa. يكون هذا الحد Aa في الأعلى ، وموازياً للأفق ولطرفي الورقة DI و HE المتوازيين ، ويكون الخط العرضي FG عمودياً على مستوى النافذة . وأخيراً يمثل de صورة الورقة مرئية بواسطة انكسار يرفع الى الأعلى بحيث يرتفع النصف الأزرق DG باتجاه dg أكثر ممّا يفعله النصف الأحمر FE باتجاه fe ، فيتعرض بالتالي الى انكسار أكبر . أما اذا أديرت الزاوية الكاسرة الى الأسفل ، فإن صورة الورقة ستهبط الى الأسفل ، بسبب الانكسار ، باتجاه δε، وسيهبط النصف الأزرق باتجاه δγ، أسفل مما يفعله النصف الأحمر المتجه نحو φε.

التجربة الثانية : لقد لففت عدة مرات حول الورقة المذكورة سابقاً ، والتي كانت بقسوة لوح من الكرتون وكان نصفاها ملوّنين بالأحمر والأزرق ، لففت خيطاً متقطعاً من الحرير شديد السواد ، بحيث تستطيع أجزاء هذا الخيط المختلفة أن تظهر على الألوان مثل عدد مماثل من الخطوط السوداء المرسومة عليها ، أو مثل أخْيلة طويلة ورقيقة منتشرة على هذه الألوان . لقد كان باستطاعتي أن أرسم خطوطاً سوداء بواسطة ريشة ، لكن الخيوط المذكورة كانت أرقّ وأكثر اتقاناً . ثم كنت ألصق الورقة ، الملوّنة بهذا الشكل والمغلّفة بالخيوط السوداء على حائط ، عمودياً على الأفق ، بحيث كان أحد

اللونين الى الجهة اليمنى والآخر الى اليسرى . وبما أن التجربة كانت تنفّذ ليلاً ، فقد كنت أضع تماماً أمام الورقة وفي تخوم الألوان وباتجاه الأسفل ، شمعة تضيء الورقة بشكل جيد . وكنت أقرّب لهب الشمعة حتى الحدّ الأسفل من الورقة أو أعلى قليلاً . بعدئذٍ، وعلى مسافة ستة أقدام وبوصة أو بوصتين من الورقة، كنت أرفع على أرضية الغرفة عدسة زجاجية بكبر أربع بوصات وربع ، استطاعت تجميع الأشعة الآتية من نقاط الورقة المختلفة وتقريبها الى العدد ذاته من النقاط ، على المسافة ذاتها ، أي ستة أقدام وبوصة أو بوصتين ، من الجهة الأخرى للعدسة ، ممّا يرسم صورة الورقة الملوّنة على ورقة بيضاء موضوعة في هذا المكان ، تماماً كما تلقي عدسة ملصقة الى ثقب في دفة النافذة صورة الأجسام الخارجية على ورقة بيضاء في غرفة مظلمة . وبعد أن أضع هذه الورقة البيضاء عمودياً على الأفق وعلى الأشعة الواقعة عليها والآتية من العدسة ، كنت أقرّبها من العدسة أحياناً ، وأبعدها عنها أحياناً أخرى ، وذلك لكي أحدد الأمكنة التي تظهر فيها صور أجزاء الورقة الملوّنة ، الحمراء والزرقاء ، أكثر وضوحاً .



شكل 12

لقد وجدت هذه الأمكنة بسهولة بواسطة صور الخطوط السوداء ، المكوّنة من الحرير ، والتي كنت قد لففتها حول الورقة . إن صور هذه الخطوط المتقطعة كانت تبدو ، بسبب سوادها ، كأخيلة على الأزرق والأحمر ، ممّا يجعلها مشوشة وبالكاد مرئية ، بينما كانت الألوان المحاذية لهذه الخطوط تبدو في الوقت ذاته ، كثيرة الوضوح ، وبعد رصد شديد الانتباه للأمكنة التي تظهر فيها صور جزءي الورقة الملوّنة ، الأحمر والأزرق ، بأوضح ما يمكن ، وجدت أنه حيث يظهر الجزء الأحمر من الورقة واضحاً، كان النصف الأزرق يظهر مشوشاً لدرجة أكاد لا أرى الخطوط السوداء الممدودة عليه، وعلى العكس تماماً، فحيث يظهر النصف الأزرق بالشكل الأوضح كان النصف الأحمر يظهر مشوشاً لدرجة أن الخطوط السوداء كانت بالكاد مرئية عليه. عدا ذلك، كان هنالك مسافة بوصة ونصف بين مكانيْ ظهور هذه الصور بوضوح، فحين كانت صورة النصف الأحمر من الورقة الملوّنة تظهر بأكثر وضوحها،

كان مكان ارتسام هذه الصورة الأوضح للنصف الأزرق على الورقة البيضاء أبعد عن العدسة بوصة ونصفاً من مكان ارتسام الصورة الأوضح للنصف الأزرق على الورقة البيضاء ذاتها. لذلك فإن العدسة، في حال ورود مماثل إليها، كانت تكسر الأشعة الزرقاء أكثر من الحمراء، بشكل أنها تتقارب بوصة ونصف البوصة أقرب الى العدسة، فتكون الأشعة الزرقاء بالتالي أكثر قابلية للانكسار من الأشعة الحمراء.

شرح : في الشكل الثاني عشر ، يشير DE الى الورقة الملوّنة ، و DG الى النصف الأزرق ، و FE الى النصف الأحمر ، و MN الى العدسة ، و HI الى الورقة البيضاء في المكان الذي يظهر فيه نصفها الأحمر مع خطوطه السوداء واضحاً ، و hi أقرب بوصة ونصفاً الى العدسة MN من المكان HI .

تعليق : تحدث نفس الأشياء دائماً حتى لو غيّرنا بعض الظروف ، كأن يكون للمنشور والورقة ، في التجربة الأولى ، أي انحناء على الأفق ، أو أن نرسم ، في تجربة أو في أخرى ، خطوطاً ملوّنة على ورقة شديدة السواد . لكنني اكتفيت ، في هذه التجارب ، بأن أبيّن الظروف التي تستطيع جعل الظاهرة أكثر بروزاً أو تعليم المبتدىء القيام بالتجربة بشكل أسهل ، أو تلك التي اضطُررت اليها خلال تجاربي . ولن أردّد في كل مرّة أنني اتّبعت ذات الأسلوب في التجارب التي سأشرحها لاحقاً . وأخيراً ، لا يمكن الاستنتاج ، من التجارب التي رأيناها ، أن كل الضوء الأزرق أكثر قابلية للانكسار من كل الضوء الأحمر : ففي هذا الضوء أو ذاك مزيج من الأشعة ذات قابليات انكسار مختلفة ، بحيث يوجد في الأحمر بعض الأشعة التي لا تقل قابلية انكسارها عن الأزرق ، وبعض الأشعة في الأزرق لا تزيد قابلية انكسارها عن الأحمر . لكن بالنسبة للضوء الاجمالي، فإن الأشعة هذه، قليلة العدد: فهي في الحقيقة تسهم بجعل التجربة أقلّ دقة، لكنها لا تستطيع أن تقوّضها. لأنه لو كان الأحمر والأزرق أقل شحناً وأكثر خفوتاً، لكانت صورة أحدهما أقل بعداً من بوصة ونصف البوصة عن صورة الآخر، ولو كانت هذه الألوان ذاتها أكثر زهواً وقاتمة لكانت المسافة بين الصورتين أكبر، كما سنرى لاحقاً. يمكن لهذه التجارب أن تكون كافية فيما يتعلق بألوان الأجسام الطبيعية. أما بخصوص الألوان الناتجة من الانكسار بواسطة المنشور، فسوف تثبت التجارب التي سنراها في النشرة التالية، الاقتراح الذي كان عنوان النشرة هذه

القضية الثانية

مبرهنة II

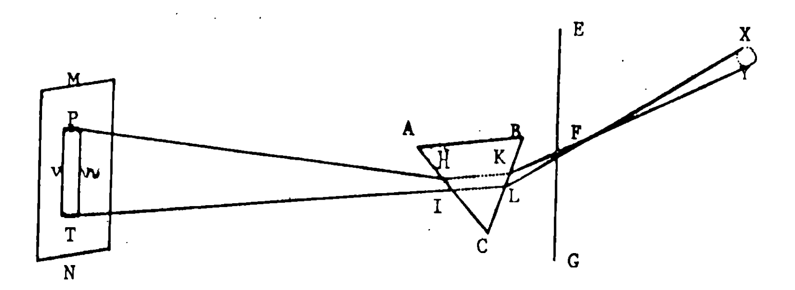
« يتكوّن ضوء الشمس من أشعة ذات قابلية انكسار مختلفة » .

(إثبات مبني على التجارب)

التجربة الثالثة : لقد وضعت منشوراً زجاجياً على ثقب دائـري ،وُسْعَتُه ثلث بوصة ، أقمته في نافذة غرفة شديدة الظلام ، بحيث ترتفع أشعة الشمس الواردة الى الثقب ، بفعل عامل الانكسار داخل المنشور ، وتسقط على الحائط المقابل في الغرفة راسمِة صورة ملوّنة للشمس . في هذه التجربة وفي التجـارب اللاحقة ، كـان محور المنشور (أي الخط الموازي لجانب زاوية الانكسار والذي يقطع وسط المنشور من طرف إلى آخر) عمودياً على الأشعة الواردة . وكنت عندما أدير المنشور ببطء حول هذا المحور ، أرى الضوء المكسور الذي كان مرتسماً على الحائط ، أي الصورة الملوّنة للشمس، يهبط بادىء الأمر ثم يرتفع بعد ذلك. وبـين هذا الهبـوط والارتفاع، وبينمـا كانت الصورة تبدو مستقرة ، كنت أوقف المنشور وأثبته في هذه الوضعية بشكل لا يسمح له بالتحرك . ففي هذه الوضعية كانت انكسارات الضوء التي تحدث عند جانبي زاوية الانكسار ، أي عند دخول الأشعة الى المنشور وعند خروجها منه ، متساوية . وهكذا فعلت في التجارب الأخرى ، ففي كل مرة أردت أن تكون الانكسارات عند جانبي المنشور متساوية كنت أحدّد مكان توقف صورة الشمس ، الناشئة بواسطة الأشعة المكسورة ، بين اتجاهي تحركها المتعاكسين في المنطقة المشتركة لذهابها وايابها ، ثم أثبِّت المنشور عندما تسقط هذه الصورة على المكان المحدّد سابقاً . وهكذا نفترض وضعية جميع المناشير في الاختبارات اللاحقة لأنها الوضعية الأنسب ، الاّ حين كنت أحدّد لها بوضوح وضعيات أخرى . وبعد وضع المنشـور بهذه الطريقـة كنت ألتقط الضوء المكسور باتجاه الحائط المقابل من الغرفة على ورقة بيضاء عمودية على الأشعة

المكسورة ، ثم أرصد شكل صورة الشمس ، التي كان هذا الضوء يرسمها على الورقة ، وأبعادها . ومع ان طول هذه الصورة كان أكبر من عرضها لكنها لم تكن إهليلجية، بل كانت تنتهي بجهتين خطيّتين متوازيتين وبطرفين نصف دائريين . وكان تحديد الجهتين المذكورتين على قدر كاف من الوضوح، بعكس عدم وضوح الطرفين المذكورين حيث كان الضوء يبدأ بالخفوت ثم يتلاشى تدريجاً . لقد كان عرض هذه الصورة يمثل قطر الشمس وكان مع الظّل ، يساوي بوصتين وثُمْن البوصة تقريباً . وبما أن الصورة كانت على بعد ثمانية عشر قدماً ونصف القدم من المنشور ، فإن انقصنا من عرضها قطر ثقب النافذة ، أي ربع بوصة ، تصبح الزاوية التي تقيمها مع المنشور نصف درجة تقريباً ، وهذا هو القطر الظاهري للشمس . أما طول الصورة فكان عشر بوصات وربع البوصة تقريباً ، وطول الجهتين الخطّيتين ثماني بوصات تقريباً ، وكانت زاوية المنشور الكاسرة 64 درجة . وعندما تكون هذه الزاوية أصغر ، يكون طول الصورة أصغر أيضاً ، بينما يبقى عرضها ثابتاً . واذا أدرنا المنشور حول محوره والى الجهة التي تجعل الأشعة تخرج ، من السطح الكاسر الثاني للمنشور ، أكثر ميولاً ، فإن الصورة تصبح للحال أطول بوصة أو بوصتين أو أكثر . أما اذا أدرنا المنشور الى الجهة المعاكسة بحيث نُسقط الأشعة أكثر ميولاً على السطح الكاسر الأول ، فإن الصورة تصبح بسرعة أقصر بوصة أو بوصتين . ولهذا كنت ، عند قيامي بهذه التجربة ، أضع المنشور بعناية فائقة ، تبعاً للقاعدة المنوّه بها سابقاً ، بحيث تكون انكسارات الأشعة ، عند خروجها من المنشور ، مساوية للانكسارات التي تتعرض لها عند دخوله . وقد كان في المنشور الذي استخدمته بعض العروق تمتد من طرف إلى آخر ، ممّا كان يبدّد قسماً من ضوء الشمس بشكل غير منتظم من دون أن يسهم ذلك في زيادة محسوسة في طول الطيف أو الصورة الملوّنة: وذلك لأنني حصلت على نتائج مماثلة باستخدام مناشير أخرى للقيام بهذه التجربة ؛ وخاصة عند استعمال منشور خال من هذه العروق ، كانت زاوية الكسر فيه 62 درجة ونصف الدرجة ، حصلت على صورة طولها 9 بوصات وثلاثة أرباع البوصة ، أو عشر بوصات ، وذلك على بعد 18 قدماً ونصف القدم من المنشور، بينما كانت وُسْعة الثقب في دفة النافذة ربع بوصة كما في السابق . وبما أنه من السهل أن أخطىء في وضع المنشور في الوضعية المناسبة ، كنت أعيد التجربة أربع مرات وخمساً فأحصل على صورة كالتي وصفتها سابقاً . وعند استخدام منشور آخر من زجاج أكثر صفاء وأتمّ صقلاً ، يظهر خالياً من العروق ، وله زاوية كاسرة بمقدار 63 درجة ونصف الدرجة ، كان طول الصورة ، على المسافة ذاتها ، أي 18 قدماً ونصف القدم ، يقارب أيضاً 10 بوصات ، أو 10 بوصات ونصف البوصة . وقد كان ضوء يظهر ، خلف هذه الأبعاد ، أي على بعد ربع أو ثلث البوصة عن طرفي الصورة ، ملوّناً بالأحمر أو البنفسجي ، لكن هذا اللون كان ضعيفاً لدرجة أنني

ظننته ناتجاً ، كلياً أو جزئياً ، من بعض أشعة الصورة المبدّدة من دون انتظام بفعل عدم التجانس الموجود في المادة او عند صقل الزجاج . لذلك لم آخذها بعين الاعتبار في القياسات التي تحدثت عنها. وأخيراً، فإن الاختلاف في وُسْعة ثقب دفة النافذة أو في سمك المنشور في مكان مرور الأشعة أو في انحناءات المنشور بالنسبة للأفق ، لم يحدث أي تغيير محسوس في طول الصورة ، كذلك لم يحدث تغيير مادة المنشور أي أثر : لأن التجربة تنجح بالطريقة عينها ، بالنسبة لكمية الانكسار ، اذا وضعنا قطعاً من الزجاج المصقول ، جُصصت على شكل منشور ، داخل اناء مملوء بالماء . ومن الواجب أن نلاحظ أن الأشعة تذهب من المنشور الى الصورة باتجاه مستقيم ، ممّا ينشىء بين أجزائها ، عند خروجها من المنشور ، الانحناء اللازم لانشاء طول الصورة ، أي انحناءً يفوق درجتين ونصف الدرجة . على كل حال، وتبعاً لقواعد البصريات الأولية ، يستحيل أن يكون الانحناء أكبر بكثير .



شكل 13

لنعتبر EG دفة النافذة ، و F الثقب المقام في هذه الدفة والذي أدخلنا عبره حزمة من ضوء الشمس الى الغرفة المظلمة ، وليكن ABC مستوياً وهمياً ذا زوايا ثلاث ، يقطع المنشور عرضياً في وسط الضوء ، أو ، إذا أردنا ، لنعتبر أن ABC هو المنشور وقد أدرنا من طرفه الأقرب ، مباشرة باتجاه عين الناظر ، ولتكن XY الشمس ، و MN الورقة التي أسقطنا عليها صورة الشمس ، و PT الصورة نفسها بحيث تكون جهتاها في V و W خطين ومتوازيتين ، وينتهي طرفاها P و T بنصف دائرة . لنعتبر YKHP و XLIT شعاعين يذهب الأول منهما من الجزء الأسفل من الشمس الى الجزء الأعلى من الصورة ويكسره المنشور في K و H ، أما الثاني ، فيذهب من الجزء الأعلى من الشمس الى الجزء الأسفل من الصورة ، ويكسره المنشور في L و I . إننا نفترض الانكسارات الحاصلة في جهتي المنشور متساوية ، أي أن الانكسار في K يساوي الانكسار في I والانكسار في L يساوي الانكسار في H ، بحيث يساوي مجموع انكسارات الأشعة الواردة الى K و L مجموع انكسارات الأشعة الخارجة من H و I . وبما أننا نجمع أشياء

متساوية الى أشياء متساوية ، يصبح مجموع الانكسارات في K و H مساوياً لمجموع الانكسارات في I و L . لذلك يكون بين الشعاعين ، المكسورين بشكل متساوٍ كما ذكرنا ، ذات الانحناء الذي كان بينهما سابقاً ، أي انحناء نصف درجة يمثل قطر الشمس: لأن ذلك كان الانحناء بينهما قبل الانكسار. وهكذا يؤلف طول الصورة PT زاوية نصف درجة مع المنشور، تبعاً لقواعد البصريات الأولية، ممّا يجعله مساوياً للعرض VW، ويجعل الصورة بالتالي دائرية. أقول إن ذلك يحدث اذا افترضنا الشعاعين XLIT وYKHP والأشعة الأخرى جميعها التي تنشىء الصورة PWTv متساوية في الإنكسار. ولكننا نجد بالاختبار أن الصورة ليست دائرية، بل إن طولها أكبر خمس مرات تقريباً من عرضها، فنستنتج أن الأشعة المرسلة الى الطرف الأعلى P من الصورة، بواسطة الانكسار الأكبر، هي أكثر قابلية للانكسار من الأشعة المرسلة الى الطرف الأسفل T، إلّا إذا كان فارق الانكسار عَرَضياً. ومن جهة أخرى فقد كانت الصورة PT ملونة، بالأحمر عند الطرف T حيث تنتهي الأشعة الأقل انكساراً، وبالبنفسجي عند الطرف الآخر P حيث تنتهي الأشعة الأكثر انكساراً، وباللون الأصفر والأخضر والأزرق بينهما: وهذا ينسجم مع الاقتراح الأول القائل «باختلاف درجة انكسارية أشعة الضوء باختلاف ألوانها».

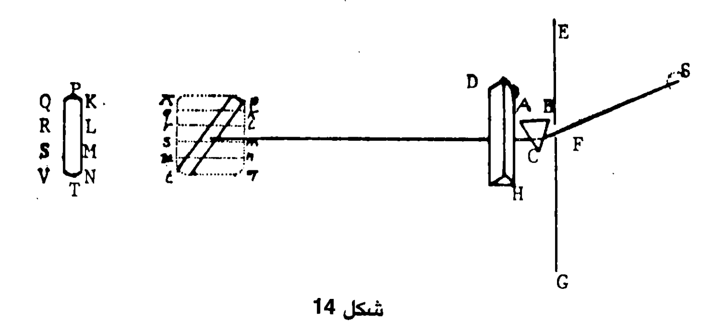
لقد قستُ ، في الأمثلة السابقة ، طول الصورة من أضعف لون أحمر موجود في آخر أحد الطرفين حتى أضعف لون أزرق في آخر الطرف الآخر ، باستثناء ظلٍّ صغير يكاد لا يزيد كبره عن ربع بوصة ، كما ذكرنا سابقاً .

التجربة الرابعة : لقد وضعت المنشور في حزمة من ضوء الشمس الداخل الى الغرفة عبر ثقب دفة النافذة ، وذلك على بُعد بضعة أقدام من هذا الثقب . وكان محور المنشور متعامداً مع هذه الحزمة الضوئية . ثم كنت أنظر الى الثقب من خلال المنشور، وأدير هذا الأخير باتجاه أو بآخر حول محوره لأرفع صورة الثقب أو أنزلها، حتى تبدو مستقرة بين هاتين الحركتين؛ عندئذ كنت أوقف المنشور لكي تكون الانكسارات متساوية من جهتي زاوية الكسر، كما فعلنا في التجربة السابقة . ثم كنت أنظر الى الثقب عبر المنشور في هذه الوضعية ، وألاحظ أن طول صورته الناشئة عن الأشعة المكسورة كان أكبر عدة مرات من عرضها ، وأن الجزء الناشىء عن الأشعة الأكثر انكساراً يبدو بنفسجياً في حين كان الجزء الناشىء عن الأشعة الأقل انكساراً يبدو أحمر، وكانت الأجزاء الفاصلة بين الجزءين المذكورين تبدو زرقاء وصفراء حسب الترتيب المذكور. وكان الشيء نفسه يحدث عندما كنت أسحب المنشور من حزمة ضوء الشمس وأنظر عبره الى الثقب المضاء بضوء الغيوم. إلّا أنه لو كان الانكسار يحدث بشكل منتظم وحسب نسبة معينة بين

جيب الــورود وجيب الانكسار، كمــا نفتــرض عــادة، لكــانت الصــورة النــاتجــة من الانكسارية دائرية.

لذلك يبدو، بنتيجة هاتين التجربتين، أن هنالك فروقاً كبيرة جداً في الانكسارات المقابلة لورود محدد. فكيف نعرف سبب هذه الفروق، وهل يكون بعض الأشعة أكثـر انكساراً من البعض الآخر، وهل يحدث هذا بشكل دائم أو صــدفةً، أم أن الشعــاع نفسه يتبدد أو يتمدد أو ينقسم ويتشتت إلى أشعة متباعدة، كما يفترض غريمالــدو. وهذا غير واضح في هذه التجربة، وإنما سيظهر جلياً في الاختبارات اللاحقة.

التجربة الخامسة : لو افترضنا أن صورة الشمس ، في التجربة الثالثة ، قد اتخذت الشكل المتطاول بسبب تمدّد كل شعاع من الأشعة أو بسبب صدفة عدم تعادل الانكسارات ، فإن انكساراً ثانياً ، يقام جانبياً ، سوف يضخِّم عرض هذه الصورة كما ضخّم طولهــا سابقــاً ، وذلك بتمدد ممــاثل للأشعــة أو بصدفــة أخرى لعــدم تعادل الانكسارات الجانبية : لذلك حاولت معرفة آثار انكسار ثان من هذا النوع . فمن وجهة النظر هذه ، وبعد أن وضعت كل الأشياء بشكل مماثل للتجربة الثالثة ، وضعت منشوراً آخر تماماً بعد الأول ولكن بشكل متعارض ، حتى أستطيع أن أكسر مرة أخرى حزمة ضوء الشمس الواصل الى هذا المنشور الثاني من خلال المنشور الأول . كان هذا الضوء ينكسر في المنشور الأول ، من الأسفل الى الأعلى ، وجــانبياً في المنشــور الثاني . فوجدت أن عرض الصورة لم يزد أبداً بسبب الانكسار الذي يحدثه المنشور الثاني ، بينما يتعرض الجزء الأعلى منها ، والظاهر بلون بنفسجي وأزرق ، لانكسار أكبر من انكسار الجزء الأسفل الذي كان يظهر بلون أحمر وأصفر ، تماماً كما يحدث في المنشور الأول . ويتم هذا كله من غير أن يتمدّد عرض الصورة أبداً .



شكل 14

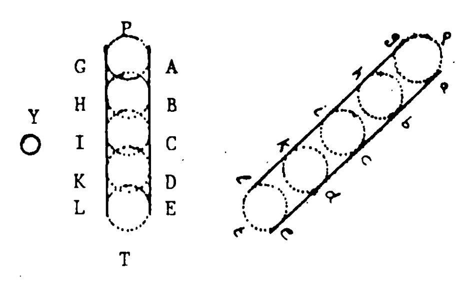
شرح: لنعتبــر S الشمس، وF ثقب دفـة النــافــذة، وABC المنشــور الأول، وDH المنشور الثاني، وY الصورة الدائرية للشمس، تقيمهــا حزمــة ضوئيــة مباشرة عند نزع المناشير و PT الصورة المتطاولة للشمس تنشئها الحزمة الضوئية التي تعبر

المنشور الأول وحده عند نزع المنشور الثاني ، و PT الصورة الناشئة عن انكسارات المنشورين المتعارضين . ولنفترض أن الأشعة المتجهة الى النقاط المختلفة من الصورة الدائرية Y تتمدّد وتتشتّت بفعل الانكسار الحاصل في المنشور الأول، فإنها في هذه الحالة غير ملزمة باتخاذ خطوط خاصة للذهاب الى بعض النقاط الخاصة ، بل ينقسم كل شعاع ويتشتت ويتحول من شعاع خطي الى سطح أشعة ، متباعدة من نقطة الانكسار ،تؤلف ذات المستوي مع زاويتي الورود والانكسار . عندها تنتشر هذه الأشعة في المستويات المذكورة على عدد من الخطوط التي تمتد تقريباً من طرف الصورة PT الى الطرف الآخر ، ممّا يجعل هذه الصورة متطاولة . فلو كان هذا هو الواقع ، لكان على هذه الأشعة مع أجزائها المختلفة ، المتجهة الى النقاط المختلفة من الصورة PT ، أن تتمدّد وتنتشر جانبياً بفعل الانكسار العرضي الذي يحدثه المنشور الثاني ، حتى تؤلف صورة مربعة $\pi\tau$ كالتي نراها في الشكل 14. ولفهم ما أقوله هنا بشكل أفضل ، لنقسم الصورة PT خمسة أجزاء متساوية PQK ، KQRL ، LRSM ، MSVN ، NVT . فكما أن عدم انتظام الضوء الدائري Y ، الذي تمدّد بفعل الانكسار في المنشور الأول ، قد أنشأ صورة متطاولة PT ، كذلك يجب على الضوء PQK ، الذي يحتل مكاناً بنفس طول الضوء الدائري Y وعرضه ، أن يتمدّد بفعل الانكسار في المنشور الثاني ، لينشىء الصورة الطويلة πqkp ، كذلك على الضوء KQRL أن ينشىء الصورة الطويلة kqtl وعلى الأضواء LRSM ، و MSVN ، و NVT ، انشاء المقدار ذاته من الصور الطويلة lrsm ، و msvn ، و nvtτ ؛ وفي هذه الحالة تؤلف جميع هذه الصور الطويلة الصورة المربعة $\pi\tau$. أقول بأن هذا يجب أن يحدث، لو تمدّد كل شعاع، بفعل الانكسار، وانتشر في سطح مثلث من الأشعة المتباعدة من نقطة الانكسار، لأن الانكسار الثاني ينشر الأشعة لجهة معينة بمقدار ما ينشرها الانكسار الأول للجهة الثانية، فيجعل الصورة تتمدّد عرضاً بمقدار ما جعلها الانكسار الأول تتمدد طولاً. ومن المفروض أن يحدث الشيء نفسه إذا تعرض بعض الأشعة عرضياً لانكسار أكبر ممّا يتعرض له بعضها الآخر. لكن ما حدث جاء مغايراً تماماً لما ذكرنا: لأن الصورة PT لم تصبح أعرض بفعل انكسار المنشور الثاني، بل أصبحت فقط مائلة كما نمثلها في pt، ونقل طرفها الأعلى P، بفعل الانكسار الى مسافة أبعد من طرفها الأسفل T. وهكذا فإن الضوء الذي كان ذاهباً الى طرف الصورة الأعلى P انكسر (في حال تعادل الورود) في المنشور الثاني أكثر من الضوء الذي كان متجهاً الى الطرف الأسفل T، أي أن انكسار اللون الأزرق والبنفسجي هو أكبر من انكسار اللون الأحمر والأصفر، وبالتالي فإن قابلية انكسار P هي أكبر من قابلية انكسار T. إن الانكسار في المنشور الأول قد نقل هذا الضوء المذكور أبعد من المكان Y، حيث كان يتجه قبل الانكسار، وبالتالي فإنه قد تعرّض، في المنشور الأول كما في الثاني، الى انكسار أكبر ممّا تعرّض

له باقي الضوء، فهو إذاً أكثر قابلية للانكسار من غيره حتى قبل أن يقع على المنشور الأول.

لقد وضعت أحياناً منشوراً ثالثاً خلف المنشور الثاني ، وأحياناً وضعت منشوراً رابعاً خلف الثالث ، حتى يمكن للصورة ، بواسطة جميع هذه المناشير ، أن تنكسر جانبياً على الأغلب ، لكن الأشعة التي كانت تتعرض الى انكسار أكبر من غيرها ، في المنشور الأول ، كانت أيضاً تتعرض لانكسار أكبر في بقية المناشير ، وهذا دونما أي تمدّد جانبي للصورة . لذلك فإن هذه الأشعة ، التي تنكسر دائماً أكثر من غيرها ، اشتهرت بأنها أكثر قابلية للانكسار .

ولكي تظهر نتيجة هذه التجربة بشكل أوضح ، يجب علينا أن نلاحظ أن الأشعة المتعادلة الانكسار تقع على دائرة مقابلة لقرص الشمس : هذا ما برهناه في التجربة الثالثة . إنني لا أقصد هنا دائرة تامة وهندسية بل شكلاً مستديراً ، يعادل الطول فيه العرض ، ويظهر دائرياً للعين المجردة .



شكل 15

لنعتبر اذاً AG الدائرة التي ترسمها على الحائط كل الأشعة الأكثر انكساراً ، والمتأتية من قرص الشمس الكامل ، لو كانت هذه الأشعة وحدها ، ولنعتبر EL الدائرة التي ترسمها كذلك كل الأشعة الأقل انكساراً ، لو كانت وحدها . ولنعتبر أيضاً BH ، و CI ، و DK الدوائر التي كان سيرسمها مقدار من أنواع الأشعة المتوسطة ، على الحائط وبشكل متعاقب ، لو تعاقب كلّ منها على الوصول وحده من الشمس ، بينما صُدّ الباقي . ولنتخيل أخيراً وجود دوائر متوسطة لا حصر لها ، يرسمها عدد لا يحصى من أنواع الأشعة المتوسطة على الحائط بشكل متتال ، لو كانت الشمس ترسل كلاً من هذه الأنواع على حدة وبطريقة تعاقبية . لكن ، وبما أن الشمس ترسل جميع هذه الأنواع من الأشعة دفعة واحدة ، فمن المفروض أن ترسم جميعها عدداً لا يحصى من الدوائر المتساوية التي تسهم جميعها ، لو وضعت بالترتيب في سلسلة متواصلة وتبعاً لدرجة قابلية انكسارها ، في تأليف الصورة المتطاولة PT التي وصفتها في التجربة الثالثة .

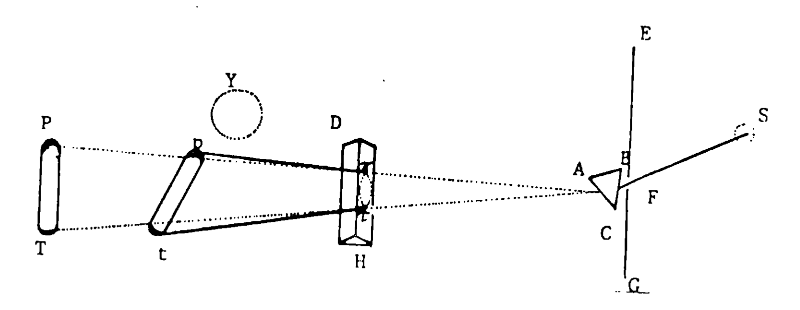
ولنفترض أن صورة الشمس الدائرية Y (في الشكلين 14 و 15) ، والناشئة عن حزمة ضوء غير مكسور ، قد تحوّلت الى الصورة المتطاولة PT بسبب تمدّد كل شعاع من الأشعة أو بسبب أي انكسار غير منتظم في المنشور الأول . ففي هذه الحالة ، وتبعاً للانكسار المتعارض في المنشور الثاني ، والذي بدوره يمدّد أو يشتت الأشعة كما جرى سابقاً ، يجب على كل دائرة AG ، BH ، CI ، ... الخ .، في الصورة المذكورة ، أن تمتد وأن تتحوّل الى شكل متطاول . عندئذ يزداد عرض الصورة PT بمقدار ما فعل طول الصورة Y سابقاً بفعل الانكسار في المنشور الأول . وهكذا ينشأ ، بسبب الانكسارات في المنشورين معاً ، شكل مربع prt T، كما وصفناه أعلاه . وبما أن عرض الصورة PT لا يزداد بفعل الانكسار الجانبي ، فهذا يؤكد أن الأشعة لا تنقسم بسبب هذا الانكسار ولا تتمدد ولا تتفرق بغير انتظام بأي شكل من الأشكال . لكن الانكسار المذكور ينقل كل دائرة الى مكان آخر بشكل منتظم ومتجانس : هكذا تنتقل الدائرة AG الى ag بفعل الانكسار الأكبر ، والدائرة BH الى bh بفعل انكسار أقل ، والدائرة CI الى ci بفعل انكسار أقل ايضاً ، وهكذا دواليك . فبهذه الطريقة تتألف صورة جديدة pt ، مائلة على السابقة PT ، من دوائر موضوعة على خط مستقيم . ومن المفروض أن تكون هذه الدوائر بكبر سابقاتها ، لأن لجميع الصور Y ، PT ، و pt نفس العرض على المسافة ذاتها من المناشير .

لقد افترضت أيضاً أن شبه ظل ينشأ حول الصورة Y بفعل عرض الثقب F ، الذي يعبره الضوء للوصول الى الغرفة المظلمة ، وان شبه الظل هذا يبقى في الجوانب الخطية للصورتين PT و pt . ثم وضعت أمام الثقب المذكور عدسة ، أو زجاجة جسمية مقراب، استطاعت ارسال صورة الشمس Y واضحة من دون أي شبه ظل penumbra. وهكذا تبدّد كلياً شبه ظل الجوانب الخطية للصور المتطاولة PT وpt، بحيث ظهرت هذه الجوانب بمقدار وضوح دائرة الصورة الأولى Y. ويحصل الشيء نفسه لو كان زجاج المناشير خالياً من العروق، وكانت جوانبها مستوية بدقة ومصقولة بشكل جيد، لا ملأى بهذا العدد اللامتناهي من الحزوز التي لم يستطع الصقل أن يسوّيها تماماً. وحتى لو لم تكن الجوانب مستوية بدقة، كأن تكون محدبة أو مقعرة قليلاً كما يحدث غالباً، وكان الزجاج مصقولاً بشكل جيد وخالياً من العروق، فمن الممكن ألا يكون للصور الثلاث PT, Y، وpt أي شبه الظل هذا أستطيع التأكيد أن كل دائرة من الدوائر المذكورة أعلاه قد انكسرت تبعاً لقاعدة معينة مطلقة الانتظام والثبات. فلو كان هنالك أي عدم انتظام في الانكسار، لما استطاعت الخطوط المستقيمة AE وGL التي تمسّ كل الدوائر في الصورة PT، أن تتحوّل بفعل هذا الانكسار الى الخطوط ae وgl بالوضوح والاستقامة التي كانت عليها قبل التحوّل، بل لنشأ في هذه الخطوط المحوّلة شبه ظلّ ما أو انحناء ما أو تموّج ما أو أي

تشـويش محسوس، وهـذا ما يتنـاقض مباشرة مـع التجربـة. إن أي شِبـه ظـل أو تشويش ينشأ في الدوائر بفعل الإنكسار المتعارض في المنشور الثاني، يظهر بوضوح في الخطوط المستقيمة ae وgl التي تمسّ هذه الدوائر. وبالتالي فإن عدم وجود شبـه ظل أو تشويش في هذه الخطوط المستقيمة يستتبع عـدم وجودهمـا في الدوائـر التي تمسّها. وبما أن الانكسارات لا تزيد المسافة بين هـذه الخطوط، أو عـرض الصورة، فإنها أيضاً لن تزيد قطر هذه الدوائر.

وبما أن هذه الخطوط تبقى خطوطاً مستقيمة ، فإن كل دائرة تنكسر في المنشور الأول بنسبة معينة ، سوف تنكسر تماماً بذات النسبة في المنشور الثاني . ويحـدث أيضاً كل ما ذكرناه ، بالطريقة عينها ، عندما تنكسر الأشعة جانبياً بفعل منشور ثالث ورابع ، فيصبح من البديهي أن تكون أشعة دائرة واحدة ومحدّدة دائمـاً ، منتظمـة ومتجانسة فيما بينها نسبة لدرجة قابلية انكسارها ، وأن تختلف أشعـة الدوائر التي تختلف درجة قابلية انكسارها ، وذلك في نسبة محدّدة وثابتة : وهذا ما كنت قد شرعت في برهانه .

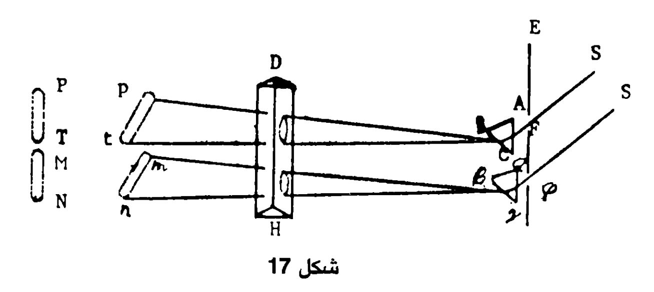
وفي هذه التجربة خصوصية أو خصوصيتان تجعل الأشياء أكثر دقة وإقناعاً.



شكل 16

لنضع المنشور الثاني DH ، لا مباشرة بعد المنشـور الأول ، بل في وسـط المسافة الفاصلة بين هذا الأخير والحائط الذي تقع عليه الصورة المتطاولة PT ، بحيث يستطيع الضوء الآتي من المنشور الأول أن يقع على المنشور الثاني على شكل صورة متطاولة τ π موازية لهذا المنشور الثاني ، وأن ينكسر جانبياً ، لينشىء على الحائط ، الصورة المتطاولة pt : سوف نجد هنا ، كما في السابق ، أن الصورة pt مائلة بالنسبة للصورة PT ، التي ينشئها المنشـور الأول وحده من غير المنشور الثـاني ؛ وبما أن الطرفين الأزرقين P و p ، هما أبعد عن بعضهما من الطرفين الأحمرين T وt ، نستطيع أن نستنتج أن الأشعة التي تذهب الى الطرف الأزرق π من الصورة τ π، وتتعرض

بذلك الى الانكسار الأكبر في المنشور الأول ، ستنكسر أيضاً في المنشور الثاني أكثر من باقي الأشعة .

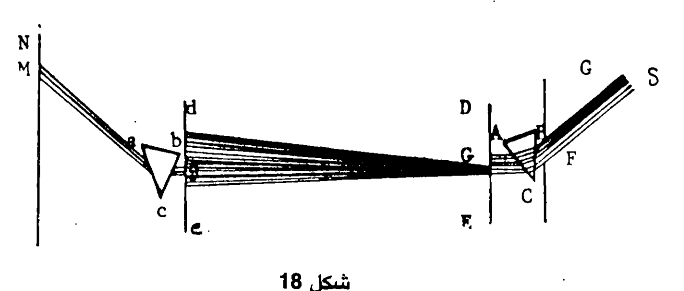


شكل 17

ولقد جرّبت الشيء نفسه عندما أدخلت ضوء الشمس في قاعة مظلمة عبر ثقبين دائريين صغيرين F و Φ أقمتهما في دفّة النافذة ، وكسرت خطّي الضوء بواسطة منشورين متوازيين ABC و αβγ موضوعين أمام هذين الثقبين (واحد أمام كل ثقب) ، بشكل يجعل الأشعة العابرة لهما تسقط على حائط القاعة راسمة الصورتين الملوّنتين PT و MN متلاصقتي الطرفين وموجودتين على نفس الخط المستقيم ، يمسّ الطرفُ الأحمر T لاحدى الصورتين الطرفَ الأزرق M للصورة الأخرى . ثم كسرت خطّي الضوء المذكورين جانبياً بواسطة منشور ثالث HD يتعارض مع المنشورين السابقين ، ممّا جعل الصور تنتقل الى مكان آخر على الحائط . فالصورة PT انتقلت مثلاً الى pt ، والصورة MN الى mn ، ولم تعد الصورتان على خط مستقيم واحد ، ولم يعد طرفاهما متلاصقين كما في السابق ، بل على العكس لقد أصبحتا منفصلتين بل متوازيتين . فقد انتقل الطرف الأزرق m للصورة mn ، بفعل انكسار أكبر ، أبعد عن مكانه الأول MT ، ممّا نقل الطرف الأحمر t للصورة الأخرى pt عن نفس المكان MT . وهكذا يصبح الاقتراح بمأمن من أي نقاش . وأخيراً إن الشيء نفسه يحدث لو وضعنا المنشور الثالث DH مباشرة بعد المنشورين الأولين ، أو على بعد كبير منهما : بحيث يقع الضوء المنكسر بفعل هذين الأخيرين على المنشور الثالث ، أبيض ودائرياً ، أو ملوّناً ومتطاولاً .

التجربة السادسة: لقد أقمت في وسط كل من لوحتين رقيقتين ثقباً دائرياً قطره ثلث بوصة، أما في دفة النافذة فقد أقمت ثقباً أكبر بكثير من المذكورين لكي أُدخل الى القاعة المظلمة حزمة كبيرة من ضوء الشمس . ثم وضعت خلف هذه الدفة وأمام الضوء المذكور منشوراً يجعله يقع منكسراً على الحائط المقابل . وثبّتُّ احدى اللوحتين تماماً خلف المنشور بحيث يمرّ وسط الضوء المكسور عبر ثقبها ويُصدّ الباقي . ثم ثبّتُّ اللوحة الأخرى على بعد اثني عشر قدماً تقريباً من اللوحة الأولى بحيث يقع وسط الضوء المنكسر ، والذي عبر اللوحة الأولى ، على الحائط المقابل بعد أن يمرّ

خلال ثقب اللوحة الثانية ، أما الباقي منه فتصدّه هذه الأخيرة حيث يرسم صورة ملوّنة للشمس . وثبّتُّ ، مباشرة خلف اللوحة الثانية منشوراً آخر لكسر الضوء العابر ثقبها . عندئذ عدت الى المنشور الأول فأدرته ببطء ، باتجاه أو بآخر ، حول محوره ، ممّا جعل الصورة الواقعة على اللوحة الثانية تتحرك الى أعلى هذه اللوحة وأسفلها ، لتتمكن جميع أجزاء الصورة من المرور عبر ثقبها بشكل متعاقب ، وتقع على المنشور الموجود خلفها . وفي نفس الوقت دوّنت على الحائط المقابل أمكنة مرور هذا الضوء بعد أن ينكسر في المنشور الثاني . ومن فروق هذه الأمكنة وجدت أن الضوء الذي تعرّض لأكبر انكسار في المنشور الأول قد ذهب الى طرف الصورة الأزرق وانكسر في المنشور الثاني ، أكثر من الضوء الذي ذهب الى الطرف الأحمر من الصورة نفسها ؛ وهذا يبرهن الاقتراح الأول ، تماماً كما يبرهن الاقتراح الثاني . وكانت الأمور تحدث بهذا الشكل أكان محورا المنشورين متوازيين ، أو مائلين على بعضهما ، وعلى الاتجاه الأفقي ، وبأية زوايا محدّدة .



شكل 18

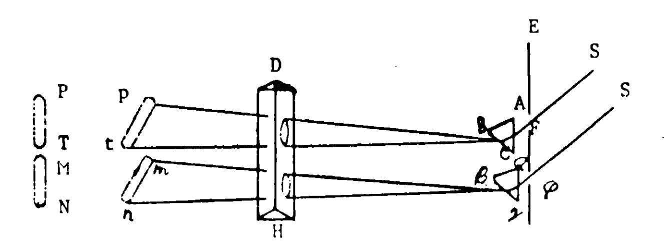
شرح : لنعتبر F الثقب الكبير المقام في دفة النافذة والذي تطل الشمس منه على المنشور الأول ABC : وليقع الضوء المنكسر في وسط اللوحة DE ، وليقع وسط الضوء على الثقب G الموجود في وسط اللوحة المذكورة : وليقع هذا الجزء من الضوء ، الذي عبر هذا الثقب ، أيضاً على وسط اللوحة الثانية de ، راسماً صورة للشمس متطاولة وملوّنة ، كالتي وصفنا في التجربة الثالثة . اذا أدرنا المنشور ABC ببطء ، في اتجاه وآخر ، حول محوره ، فستنتقل هذه الصورة الى أعلى اللوحة de والى أسفلها ؛ وهكذا تستطيع جميع الأجزاء ، من طرف إلى آخر ، أن تُرْسَل بالتعاقب عبر الثقب g الموجود في وسط هذه اللوحة . ويجب علينا أن نثبّت ، في الوقت نفسه ، منشوراً آخر abc مباشرة بعد الثقب g ، لكي ينكسر الضوء الذي يعبر هذا الثقب ، مرة أخرى . وبعد أن رتبت الأمور بهذا الشكل ، سجّلت على الحائط المكانين M و N اللذين يقع عليهما الضوء المكسور . ووجدت أننا اذا أبقينا المنشور الثاني واللوحتين ثابتة ، وأدرنا المنشور الأول حول محوره ، فإن المكانين المذكورين سيتغيران بشكل متواصل . فحين كان الجزء الأسفل من الضوء الواقع على اللوحة الثانية de يمرّ عبر الثقب g ،

فإنه كان يذهب الى مكان سفلي M من الحائط ، وحين كان الجزء الأعلى من هذا الضوء يمرّ عبر الثقب نفسه g ، فإنه كان يذهب الى مكان علوي N من الحائط ، بينما كانت الأجزاء الوسطى من هذا الضوء تذهب ، حين عبورها الثقب نفسه g ، الى مكان من الحائط بين M و N . وبما أن وضع الثقوب في اللوحات لم يكن يتغير أبداً ، فقد كان ورود الأشعة الى المنشور الثاني هو نفسه في جميع الحالات السابقة . ومع ان هذا الورود كان مشتركاً ، فإن جزءاً من الأشعة انكسر أكثر من غيره : هذا الجزء كان الأكثر انكساراً في المنشور الثاني ، بعد انكسار كبير في المنشور الأول ، ممّا جعله الأكثر انزياحاً : وهذا ما جعلنا بالتالي نلقّب هذا الجزء بالأشعة الأكثر قابلية للانكسار ، وذلك لأنه دوماً أكثر انكساراً من غيره .

التجربة السابعة : لقد أقمت في دفة نافذتي ثقبين شديدي التقارب ، ووضعت منشوراً أمام كل ثقب ، ممّا سمح بارسال صورتين متطاولتين وملوّنتين للشمس ، الى الحائط المقابل (بنفس الطريقة التي ذكرناها في التجربة الثالثة) . ثم وضعت ، على مسافة قريبة من الحائط ، قطعة ورقية طويلة وضيقة وذات طرفين مستقيمين ومتوازيين . ورتّبت المنشورين والورقة بحيث يقع اللون الأحمر لاحدى الصورتين مباشرة على نصف الورقة ، واللون البنفسجي للصورة الأخرى على النصف الآخر منها : بشكل تظهر الورقة فيه بلونين ، أحمر وبنفسجي ، تقريباً كالورقة المطلية في التجربتين الأولى والثانية . ثم غطيت الحائط ، خلف الورقة ، بحرام أسود كي لا يعكر التجربة أي ضوء معكوس من جهة الحائط . عندئذ نظرت الى الورقة من خلال منشور ثالث ، فوجدت نصف الورقة المضاء باللون البنفسجي منفصلاً عن نصفها الآخر ، وذلك بفعل انكسار أكبر ، وبخاصة حين كنت ابتعد كثيراً عن الورقة . لأنني حين كنت أنظر اليها عن قرب ، لم يكن النصفان المذكوران يبدوان منفصلين كلياً ، بل متلاصقين في احدى زواياهما ، كما حدث لنصفي الورقة المطلية ، الأزرق والأحمر ، في التجربة الأولى . وقد كان يحدث الشيء نفسه عندما استخدم ورقة عريضة.

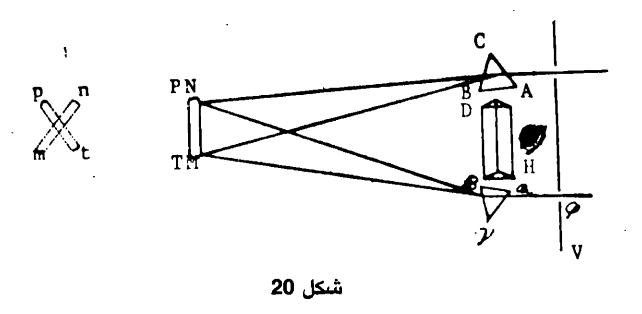
لقد استعضت ، بعض الأحيان ، عن الورقة بخيط أبيض كان يبدو من خلال المنشور مقسوماً الى خيطين متوازيين، كما نرى في الشكل 19 ، حيث يشير DG الى الخيط المضاء من خلال المنشورين بأشعة بنفسجية ، من D حتى E ، وبأشعة حمراء من E حتى G وحيث de و fg هما نصفا الخيط اللذان نراهما بالانكسار من خلال المنشور الثالث . لنجعل نصف الخيط مضاءً بشكل دائم باللون الأحمر ، والنصف الآخر بجميع الألوان وبالتعاقب (نستطيع أن نفعل هذا عندما ندير أحد المنشورين حول محوره بينما نبقي الآخر ثابتاً) . اذا نظرنا الى الخيط من خلال المنشور الثالث ، فإن نصفه الثاني يبدو ، حين يكون مضاءً بالأحمر ، ممتداً على خط مستقيم مع النصف الأول ، ويبدأ بالانفصال عنه قليلاً ، عند اضاءته باللون البرتقالي ، ثم يبتعد عنه حين

يضاء بالأصفر ، ويبتعد أكثر حين يضاء بالأخضر ، وأكثر أيضاً مع اللون الأزرق ، وأكثر أيضاً مع اللون النيلي ، وأخيراً يصبح الأبعد حين يضاء بالبنفسجي القاتم . يبرهن كل هذا أن الأشعة المختلفة الألوان تختلف درجة انكسارية بعضها عن درجة انكسارية البعض الآخر ، وذلك حسب الترتيب التالي ، بادئين بالأقل انكسارية : الأحمر ، البرتقالي ، الأصفر ، الأخضر ، الأزرق ، النيلي ، والبنفسجي القاتم ، وهذا يبرهن أيضاً الاقتراحين الأول والثاني .



شكل 19

ومن جهة أخرى ، وضعت الصورتين الملونتين PT و MN الناتجتين في القاعة المظلمة من الانكسار في المنشورين ، ممتدتين على نفس الخط المستقيم وبطرفين متلاصقين ، كما سبق أن ذكرت في التجربة الخامسة أعلاه . ثم نظرت إليهما من خلال منشور ثالث مواز لاتجاه طولهما فلم تبدوا متصلتين وعلى خط مستقيم بل منفصلتين كلياً الواحدة عن الأخرى ، كما نراهما في pt mn ؛ فقد انتقل الطرف البنفسجي m من الصورة mn ، بفعل انكسار أكبر ، أبعد عن مكانه الأول MT مما انتقل الطرف الأحمر t للصورة الأخرى pt .



شكل 20

عدت ووضعت الصورتين PT و MN بحيث تصبحان متطابقتين ولكن بعكس

ترتيب لونيهما ، أي أن يقع الطرف الأحمر لكل منهما على الطرف البنفسجي للأخرى ، كما يتمثل ذلك في الشكل المتطاول PTMN : ثم نظرت اليهما من خلال منشور DH الذي أبقيته موازياً لاتجاه طولهما ، فلم تبدوا أبداً متطابقتين ، مثلما كنت أنظر اليهما بالعين المجردة ، بل بدتا بشكل صورتين مختلفتين pt و mn تتقاطعان في الوسط بطريقة الحرف × . من هنا يبدو أن الأحمر في احدى الصورتين والبنفسجي في الأخرى واللذين تطابقا في PN و MT ، يختلفان في درجة انكساريتهما (لأنهما انفصلا بفعل انكسار البنفسجي في p و m أكثر من الأحمر في n و t) .

ثم أخذت دائرة صغيرة من ورقة بيضاء وغمرتها كلياً بمزيج من ضوء المنشورين . كانت هذه القطعة الورقية تضاء بلون احدى الصورتين الأحمر ولون الأخرى البنفسجي ، حتى إنها كانت تبدو أرجوانية بفعل هذا المزيج . فنظرت اليها عن مسافة قريبة ثم عن مسافة أكبر ، وذلك من خلال منشور ثالث ، وكنت كلّما ابتعدت عن هذه الورقة أرى صورتها تنفصم أكثر فأكثر ، بفعل فرق انكسار ضوءي المزيج ، حتى انقسمت أخيراً الى صورتين مختلفتين ، الواحدة حمراء والأخرى بنفسجية . لقد كانت هذه الأخيرة أبعد عن الورقة ، فهي بالتالي قد تعرّضت لانكسار أكبر . وعندما نزعنا المنشور الموجود قرب النافذة ، والذي كان يعطي اللون البنفسجي على الورقة ، اختفت الصورة البنفسجية للحال ، وعندما نزعنا المنشور الآخر ، اختفت الصورة الحمراء بدورها : ممّا يظهر أن هاتين الصورتين لم تكونا الّا ضوءي هذين المنشورين ، متمازجين في البدء على الورقة الأرجوانية المظهر ، ثم منفصلين من جديد بفعل انكساريهما غير المتساويين في المنشور الثالث الذي كنا ننظر من خلاله الى الورقة . وهنالك أمر آخر تجدر ملاحظته ، وهو أنني لو أدرت أحد المنشورين اللذين كانا قرب النافذة حول محوره (المنشور الذي كان يرسل اللون البنفسجي الى الورقة ، مثلاً) لكي أجعل جميع الألوان ، البنفسجي والنيلي والأزرق والأخضر والبرتقالي والأحمر ، تقع بالتعاقب من المنشور على الورقة وتبعاً للترتيب الذي ذكرته هنا ، لتغيّر لون الصورة البنفسجية ، بالتعاقب حسب هذا الترتيب ، الى النيلي والأزرق والأخضر والأصفر والأحمر ، ولكانت هذه الصورة ، مع تغيّر لونها ، تقترب أكثر فأكثر من الصورة الحمراء التي ينشئها المنشور الآخر ، حتى اذا أصبحت هي نفسها حمراء ، أصبحت الصورتان مطلقتي التطابق .

وضعت أيضاً دائرتين من الورق قريبتين جداً من بعضهما ، احداهما في الضوء الأحمر لأحد المنشورين والأخرى في الضوء البنفسجي للمنشور الآخر . وكان قطر كل منهما بوصة واحدة ، وكان الحائط خلفهما مغطّى بالأسود حتى لا يعكّر التجربة أي ضوء آت من هذه الجهة . وبعد اضاءة الدائرتين بهذا الشكل ، كنت أنظر اليهما من

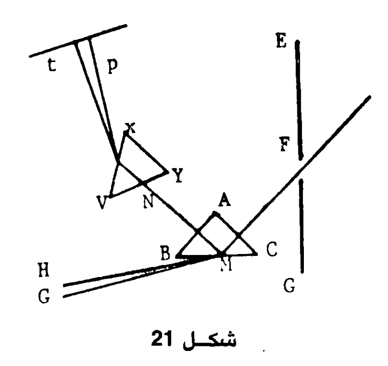
خلال منشور أُمسكه بشكل يجعل الانكسار يحدث باتجاه الدائرة الحمراء . وبقدر ما كنت أبتعد عن هاتين الدائرتين ، فإنهما كانتا تتقاربان أكثر فأكثر حتى تصبحا متطابقتين في النهاية : بعد هذه المرحلة ازددت بعداً ، فانفصلت الصورتان مجدّدا حسب ترتيب معاكس ، كأن البنفسجي انتقل خلف الأحمر بفعل انكسار كبير .

التجربة الثامنة : أما في فصل الصيف ، وفي وقت يكون فيه ضوء الشمس في قوته القصوى ، فقد وضعت منشوراً أمام دفّة نافذتي ، كما فعلت في التجربة الثالثة ، الّا أن محوره كان هذه المرّة موازياً لمحور الأرض . ووضعت كتاباً مفتوحاً على الحائط المقابل في المكان الذي يقع فيه ضوء الشمس المكسور . ثم وضعت ، على بعد ستة أقدام وبوصتين من هذا الكتاب ، العدسة المذكورة أعلاه والتي تقرّب الضوء المنعكس عن الكتاب وتجمّعه خلفها ، على بعد ستة أقدام وبوصتين ، حيث ترسم صور الكتاب وخصوصياته على ورقة بيضاء ، كما حدث في التجربة الثانية تقريباً . وبعد أن ثَبّتُّ الكتاب والعدسة ، سجّلت مكان وجود الورقة حين كانت حروف الكتاب ، المضاءة باللون الأحمر الأكثر زهواً من ضوء صورة الشمس الواقعة عليها ، ترتسم على هذه الورقة بأكثر وضوح ممكن . ثم انتظرت حركة الشمس وصورتها على الكتاب حتى تمرّ جميع الألوان ، من الأحمر المذكور حتى منتصف الأزرق ، على حروف الكتاب : وحين أصبحت هذه الأخيرة مضاءة بهذا اللون الأزرق ، سجلت مكان وجود الورقة حيث ترتسم الحروف بأقصى وضوح . فوجدت أن مكان الورقة هذا أقرب الى العدسة من مكانها السابق بمقدار بوصتين ونصف البوصة أو بوصتين وثلاثة أرباع البوصة تقريباً . وبالتالي ، فإن الضوء الذي أنشأ طرف الصورة البنفسجي كان ، بفعل انكساره الأكبر ، أكثر تقرُّباً وتجمّعاً مما كان عليه الضوء المؤلِّف للطرف الأحمر . ويبقى أن أذكر أنني ، خلال التجربة هذه ، عتّمت الغرفة بقدر استطاعتي لأنه لو امتزج أي ضوء غريب بالألوان المعنية لأضعفها وقلّل بالتالي المسافة بين مختلف أماكن الورقة حيث كانت تظهر هذه الألوان المختلفة . وفي التجربة الثانية حيث كنت استخدم ألوان الأجسام الطبيعية ، لم تكن هذه المسافة تتعدى بوصة ونصف البوصة بسبب عيوب هذه الألوان . وبما أنني استعملت هنا ألوان المنشور ، وهي أكثر قتماً وزهواً من ألوان الأجسام الطبيعية ، فقد كانت المسافة بوصتين وثلاثة أرباع البوصة . ولو كانت الألوان أكثر زهواً من ذلك، لكانت المسافة بلا شك أكبر بكثير. وبسبب تداخل interference الدوائر المذكورة في الشكل الثاني من التجربة الخامسة، وبسبب الضوء الصارخ للهالات القريبة من جسم الشمس والذي كان يمتزج بهذه الألوان، وأخيراً بفعل تشتت الأشعة المتأتي من عدم المساواة في سطح المنشور، أضحى ضوء المنشور الملوَّن مركّباً إلى درجة أن الصور التي كانت تسقطها على الورقة ألوان

ضعيفة ومعتمة، كالنيلي والبنفسجي، لم تكن كافية الوضوح حتى يتم تسجيلها جيداً.

التجربة التاسعة : استخدمت في هذه التجربة منشوراً له زاويتان متساويتان ونصف قائمتين في القاعدة ، أما زاويته الثالثة فكانت قائمة . وضعت هذا المنشور أمام حزمة من ضوء الشمس الداخل الى الغرفة من خلال ثقب في دفة النافذة ، كما فعلت في التجربة الثالثة . ثم أدرت هذا المنشور ببطء حول محوره حتى بدأت قاعدته تعكس كل الضوء الذي عبر احدى زواياه وانكسر عندها ، وذلك في المكان الذي كان هذا الضوء حتى الآن يغادر منه زجاج المنشور . ولاحظت أن الأشعة التي كانت تتعرّض للانكسار الأكبر كانت تنعكس أكثر من غيرها . ولهذا تصوّرت أن أشعة الضوء المنعكس ، الأكثر قابلية للانكسار ، كانت تتعرض قبل غيرها لانعكاس كلّي ، ثم يليها باقي الأشعة بتحقيق هذا الانعكاس وبالمقدار ذاته . وللتأكد ممّا أقول ، جعلت الضوء المنعكس يمرّ عبر منشور آخر ، وبعد انكساره فيه جعلته يقع على ورقة بيضاء موضوعة على مسافة معيّنة ، حيث ارتسمت ألوان المنشور العادية بسبب هذا الانكسار . بعد ذلك أدرت المنشور الأول حول محوره ، كما فعلت أعلاه ، ولاحظت أن الأشعة التي تعرّضت لأكبر انكسار في هذا المنشور وظهرت زرقاء وبنفسجية ، قد بدأت بالانعكاس كلياً ، وأن الضوءين الأزرق والبنفسجي ، المرتسمين على الورقة واللذين انكسرا في المنشور الثاني أكثر من غيرهما ، ازدادا بشكل محسوس بالنسبة للونين ، الأحمر والأصفر ، اللذين كانا الأقل انكساراً . ثم لاحظت بالتالي ، أنه حين كان باقي الضوء ، الأخضر والأصفر والأحمر ، يبدأ بالانكسار كلياً في المنشور الأول ، ازداد ضوء هذه الألوان الأخيرة ، المرسومة على الورقة بعد انكسارها في المنشور الثاني ، بقدر ما فعل سابقاً اللونان البنفسجي والأزرق .

ومن هنا نستنتج ان حزمة الضوء الذي تعكسه قاعدة المنشور الأول قد كبرت أولاً بفعل الأشعة الأكثر انكساراً ، ثم بالأقل انكساراً ، فهي تتألف اذاً من أشعة ذات قابليات انكسار مختلفة . لم ترد على فكر أحد في السابق أن يكون هذا الضوء المنعكس من نفس طبيعة ضوء الشمس قبل وروده الى قاعدة المنشور الأول . فقد كان الجميع متفقين عموماً على أن الضوء لا يتعرّض لأي تبدّل في خصائصه بسبب انعكاسات من النوع الذي ذكرنا . لم آخذ هنا بعين الاعتبار أي انكسار حدث عند واجهات المنشور الأول ، لأن الضوء قد دخله عمودياً على الواجهة الأولى وخرج أيضاً عمودياً على الثانية ، فهو لم يتعرّض بالتالي لأي انكسار . ان للضوء الوارد من الشمس نفس طبيعة الضوء المنبثق من المنشور ، وبما أن هذا الأخير مركّب من أشعة مختلفة الانكسارية ، فإن الضوء الأول ، أي ضوء الشمس مركّب أيضاً بنفس الطريقة .

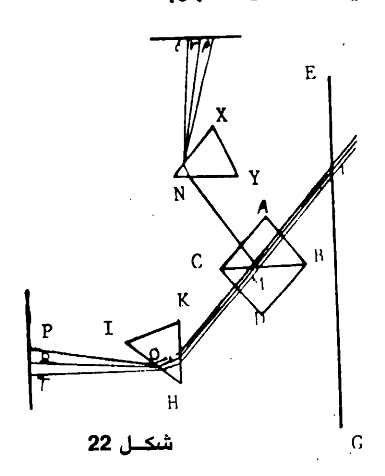


شكـل 21

شرح : في الشكل الواحد والعشرين ، ABC هـو المنشور الأول ، أو مقـطعه المستعرض ، و BC قاعدته ، B و C هما زاويتا هذه القاعدة المتساويتان ، كل منهما 45 درجة ، أما A فهي قمته القائمة ، و FM خط من ضوء الشمس الداخل الى الغرفة من خلال ثقب F وُسْعته ثلث بوصة، أما M فهو وروده على قاعدة المنشور ، و MG شعاع أقل انكساراً و MH شعاع أكثر انكساراً ، و MN خط الضوء المنعكس عن القاعدة BC ، و VXY هو المنشور الثاني الذي ينكسر فيه خط الضوء المذكور عندما يعبره ، و Nt ضوء هذا الخط الأقل انكساراً ، و Np الأكثر انكساراً منه . عندما ندير المنشور الأول ABC حول محوره تبعاً لترتيب الأحرف A ، B ، C ، تخرج الأشعة MH من هذا المنشور دوماً أكثر ميولاً وتنعكس أخيراً ، بعد خروجها الأكثر ميولاً ، باتجاه N ، وتزيد ، بتقدّمها الى p ، مقدار الأشعة Np . واذا تابعنا تحريك المنشور الأول ، تنعكس الأشعة MG أيضاً الى N ، فتزيد مقدار الأشعة Nt . لذلك فإن الضوء MN يستقبل في تركيبه ، أولاً الأشعة الأكثر انكسارية ثم الأقل انكسارية ، ولكنه يعود ، بعد هذا التركيب الى طبيعة ضوء الشمس المباشر FM نفسها ، وذلك لأن انعكاسه في القاعدة المرآوية BC لم يُحدث فيه أي تغيير .

التجربة العـاشرة: لقد أوثقت منشـورين متشابهـين بحيث كان محـوراهما متوازيين وكانت واجهتاهما متقابلتين، ممّا ألف متوازي سطوح parallelepiped. ثم أدخلت الى غـرفتي المظلمـة حـزمـة من ضـوء الشمس، من خـلال ثقب صغـير في دفّة النافذة، ووضعت أمامها متوازي السطوح هذا، على بعد معيّن من الثقب، بحيث كـان محـورا المنشـوريـن عمـوديـين عـلى الأشعـة الـواردة، وبحيـث كـانـت هـذه الأشعـة، الـواقعـة عـلى الـواجهـة الأولى لأحـد المنشـورين، تستطيـع المـرور عبـر واجـهتـي المنشـوريـن المتـلاصقـين، والخـروج مـن الـواجـهـة الأخـرى للمنشور الثـاني. ونظراً لكـون هذه الـواجهة الأخـيرة مـوازيـة للـواجهـة الأولى من المنشـور الأول، كـان الضـوء المنبثق مـوازيـاً للـورود. ثم وضعت خلف

هـذين المنشورين منشـوراً ثالثـاً يستطيع كسر هـذا الضـوء المنبثق فيسقط ألـوان المنشـور العـاديـة عـلى الحـائط المقـابـل أو عـلى ورقـة بيضـاء كنت أضعهـا عـلى مسافة مناسبة خلف هـذا المنشور الثـالث، لالتقاط هـذا الضوء المكسـور. ثم أدرت متوازي السطوح حـول محوره حتى أصبحت الـواجهات المتـلاصقة في المنشـورين المؤلفـين له كثـيرة الميول بـالنسبة لـلأشعة الـواردة؛ عنـدئـذ بـدأت هـذه الأشعـة بالانعكاس كلياً ، فوجدت أن الأشعة ، التي كانت الأكثر انكساراً في المنشور الثالث والتي أضاءت الورقة باللونين البنفسجي والأزرق ، قد أصبحت ، بسبب الانعكاس ، الأولى في الانفصال عن الضوء الخـارج ، بينما بقي سائـر الأشعة ليـرسم ألوانه ، الأخضر والأصفر والبرتقالي والأحمر ، على الورقة كما في السابق . ثم تابعت تحريك المنشورين الموثقين ، فتشتت هذه الأشعة الأخيرة أيضاً بانعكاس كلي ، كل شعاع بدوره تبعاً لاختـلاف درجة انكسـاريته . وهـذا يعني أن الضوء الخـارج من هذين المنشورين كان يتألف من أشعة مختلفة الانكساريـة ، لأننا نستـطيع أن ننـزع منه الأشعة الأكثر انكسارية بينما تبقى فيه الأشعـة الأقل انكسـارية . ولو تعـرّض هذا الضوء ، بعد مروره عبر السطحين المتوازيين لهذين المنشورين الموثقين ، لأي تغيير بفعل الانكسار عند أحد السطحين، لوجب عليه فقدان العيب imperfection النـاتج من ذلك بفعل الانكسار المضاد عند السطح الآخر المقابل وعودتـه الى حالتـه الأولى. لـذلك فـإن لهذا الضـوء الطبيعة ذاتهـا التي كانت لـه قبل وقـوعه عـلى المنشورين المـذكـورين، فهـو إذاً مؤلف، قبـل وروده، من المقـدار ذاتـه من الأشعـة المختلفـة الانكسارية والتي رأيناها خلال التجربة.

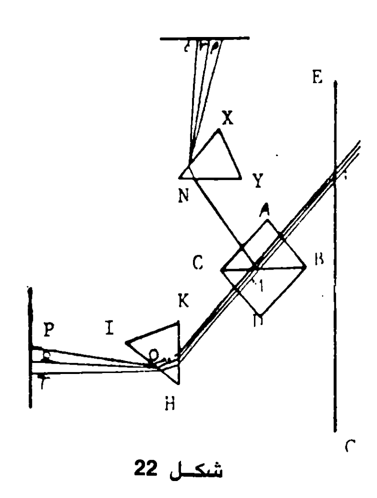


شكـل 22

شرح : في الشكل الثاني والعشرين ، ABC و BCD هما المنشوران ، الملصقان الواحد بالآخر ، عند واجهتيهما BC و CB ، على شكل متوازي سطوح ، أما واجهتاهما

AB و CD فهما متوازيتان . يدخل ضوء الشمس الى الغرفة المظلمة من الثقب F ليعبر واجهات المنشورين الأولين AB و BC و CB و CD ، ثم يذهب الى المنشور الثالث HIK حيث ينكسر في O ويقع على الورقة البيضاء PT . يقع جزء منه على P بفعل انكسار أكبر ، وجزء آخر على T بفعل انكسار أقل ، بينما تقع أجزاء أخرى على R وأماكن أخرى متوسطة ، بفعل انكسارات متوسطة . أدرنا متوازي السطوح ACDB حول محوره ، تبعاً لترتيب الأحرف A ، B ، C ، D حتى أصبح المستويان المتـلاصقان BC ، CB بمقدار كاف من الميول بالنسبة الى الأشعة FM الواقعة عليهما في M . عندئذ اختفت كلياً من الأشعة المنكسرة OPT ، أولاً الأشعة الأكثر انكساراً OP ، بينما بقيت الأشعة OR و OT كما كانت سابقاً . ثم اختفت الأشعة OR وأشعة متوسطة أخرى ، وبعدها جاء دور الأشعة الأقل انكساراً OT . لأنه حين يصبح المستوي BC كافي الانحناء بالنسبة للأشعة الواقعة عليه ، فإنه يعكسها كليّا باتجاه N . وبما أن الأشعة الأكثر انكسارية تكون الأولى في الانعكاس كلياً (كما سبق وذكرنا في التجربة السابقة) فإنها ستكون الأولى في الاختفاء من P . ثم يختفي باقي الأشعـة من R و T عندمـا ينعكس ، كل بدوره ، كلياً في N . وهكذا فإن الأشعة التي تتعرّض لأكبر انكسار في O ، تستطيع أن تنفصل عن الضوء MO بينما تبقى الأشعة الأخرى فيه ؛ فيكون الضوء MO بالتالي مؤلّفاً من أشعة مختلفة الانكسارية . وبما ان المستويين AB و CD متوازيان فإنهما يلغيان آثارهما المتبادلة بفعل انكسارات متساوية ومتعاكسة ، وهكـذا يكون الضـوء الوارد FM من نوعية الضوء الخارج MO وطبيعته ذاتها ، فهو بالتالي مؤلف أيضاً من أشعة مختلفة الانكسارية . وقبل أن تنفصل الأشعة الأكثر انكسارية عن الضوء الخارج MO ، كان الضوءان FM و MO يظهران ، تبعاً لمقدرتي على الملاحظة ، متنـاسبين باللون وبأية خاصية أخرى ، فهما اذاً من طبيعة واحدة ويتألف أحدهما تماماً ممّا يتألف منه الآخر . لكن عندما تبدأ الأشعة الأكثر انكساراً بالانعكاس الكلّي ، وتنفصل بالتالي عن الضوء الخارج MO ، فإن لون هذا الأخير يتغيّر ، مارّاً بالتعاقب من الأبيض الى الأصفر الخافت ، الى البرتقالي الواضح ، ثم الى الأحمر القاتم جداً ، الى أن يتلاشى كلياً . لأن الأشعة الأكثر انكساراً التي تعطي الورقة لوناً ارجوانياً ، تنفصل عن حزمة الضوء MO بفعل الانعكاس ، فيعطي مزيج ما تبقى من الألوان في الحزمة MO اللون الأصفر الخافت على الورقة في R و T . وبعد أن تبدّد اللون الأزرق وجزء من الأخضر ، اللذان كانا يظهران على الورقة بين P و R ، يؤلف الباقـي، أي الأصفر والبـرتقالي والأحمر وقليل من الأخضر ، مزيجاً من الضوء في MO يظهر برتقالياً بين R و T . وحين تنفصل كل الأشعة عن الضوء MO ، باستثناء الأقل انكسارية منها ، والتي كانت تظهر في T بلون أحمر قاتم ، فإن لون هذه الأخيرة في حزمة الضوء MO ، هو نفسه الذي كان سابقاً في T ، لأن أثر الانكسار في المنشور HIK يقتصر على فصل الأشعة المختلفة

الانكسارية دون إحداث أي تبديل في ألوانها ، كما سأبرهن ذلك باسهاب لاحقاً : ان جميع الملاحظات التي تثبت الاقتراح الأول تماماً تثبت الاقتراح الثاني .



شكـل 22

تعليق : اذا ربطنا هذه التجربة بسابقتها فإننا نحصل على تجربة واحـدة لو استخدمنا منشوراً رابعاً VXY لنكسر ، باتجاه tp ، حزمـة الضوء MN التي كـانت تنعكس سابقاً ، ممّا يعطي استنتاجات أكثر بداهة . لأن الضوء Np ، الأكثر انكساراً في هذا المنشور الرابع من أي ضوء آخر ، يصبح أقوى وأكثر وهجاً ، عندما يتلاشى ، في P ، الضوء OP الأكثر انكســاراً في المنشور الثـالث HIK . وحين يتلاشى ، في T ، الضوء الأقل انكساراً OT ، يزداد الضوء الأقل انكساراً Nt بينما لا يزداد الضوء الأكثر انكساراً في p أبداً . وكما أن الحزمة العابرة MO تتخذ دائماً ، عند تلاشيها ، اللون الناتج من مزيج الألوان الواقعة على الورقة PT ، كذلك تتخذ الحزمة المنعكسة MN دائماً اللون الناتج من مزيج الألوان الواقعة على الورقة pt، لأنه عندما تنفصل الأشعة الأكثر انكسارية عن الحزمة MO ، بفعل انكسار كلّي ، تاركة هذه الأخيـرة برتقـالية اللون ، فإن الفائق من هذه الأشعة في الضــوء المنعكس لا يجعل اللون البنفسجي والنيلي والأزرق في p أكثر زهواً فحسب ، بل يحوّل أيضاً لون الحزمة MN المصفر ، وهو لون الشمس ، الى أبيض باهت يميل الى الأزرق ، ثم يعيد اليها لونها المصفرّ حالما ينعكس كل ما تبقى من الضوء العابر MOT .

لقد رأينا حتى الآن مجموعة متنوعة من التجارب ، أقيمت على ضوء عكستـه أجسام طبيعية ، كما في التجربتين الأولى والثانية ، أو مرايا ، كما حدث في التجربة التاسعة. وبعض هذه التجارب أقيم ، كما رأينا في التجـربة الخـامسة ، على ضــوء منكسر ، وذلك قبل أن ينفصل بعض الأشعة المختلف الانكسار عن بعضها الآخر بفعل

التباعد divergence؛ وقد بدا كل منها بلـون مختلف بعد أن فقـدت الأشعة اللـون الأبيض الـذي كان لهـا حين كـانت مجتمعة، أو حـين بدت ملـوّنة، بعـد أن انفصل بعضها عن البعض الآخر، كما في التجربة السادسة والسابعة والثامنـة. وقد أقمنـا أخيراً التجربة العاشرة عـلى ضوء مـرسل عبـر سطوح متـوازية يلغي بعضهـا آثار بعضها الآخر. أقـول بأنـه يوجـد دائماً، وفي جميـع هذه الحـالات المختلفة، أشعـة تتعـرض لانكسارات غـير متساويـة في حين تكـون زوايا ورودهـا على الـوسط نفسه متساوية، وذلك من دون أي تمدّد أو تجزئة للأشعة أو أية حوادث طـارئة عن عـدم المساواة في الانكسار، كما ظهر ذلك جليّاً في التجـربتين الخـامسة والسـادسة. وقـد تأكّدنا أيضاً من امكان فصل بعض الأشعة المختلفة الانكسارية عن بعضهـا الآخر بفعل الانكسار، كما في التجربة الثالثة، أو بالانعكاس كما في التجـربة العـاشرة. وقد ظهـر لنا أن الأنـواع المختلفة من الأشعـة، إذا أُخذ كـلّ منها عـلى حدة، تتعـرض لانكســارات غير متســاوية في حـين يكون لهـا الورود ذاتـه، وأن النوع منهـا الأكثر انكســاراً من غيره، بعـد انفصالـه عن هذا الأخـير، كان أيضــاً أكثر انكســاراً قبل الانفصال عنه، كما رأينا في التجربة السادسة وفي التجـارب اللاحقـة. وإذا أرسلنا ضــوء الشمس، وبالتعـاقب، عبر ثـلاثـة أو أربعـة أو أكثـر من ذلـك من المنـاشـير المتعـارضة، فـإن الأشعة الأكثـر انكساراً من غـيرها من المنشـور الأول هي أيضـاً الأكثر انكساراً في جميع المناشير اللاحقة، وذلك تبعاً للقاعدة ذاتها وبالنسبة عينهـا، كما نرى في التجربة الخامسة. يظهر من كل ذلك أن ضوء الشمس مزيج من أشعـة غير متجانســة، بعضها أكثـر انكساريـة من بعضها الآخـر بشكل ثـابت، كما ذكـر **الاقتراح الثاني**، موضوع هذه المقالة.

القضية الثالثة

مبرهنة III

« يتألف ضوء الشمس من أشعة مختلفة الانعكاسية ، والأشعة الأكثر انكسارية من غيرها هي ذاتها الأكثر انعكاسية » .

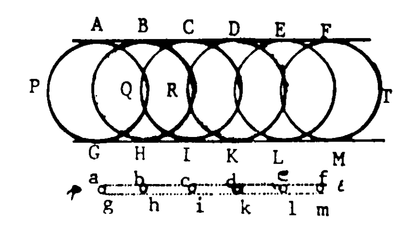
هذه المبرهنة هي إحدى بديهات التجربتين التاسعة والعاشرة . فقد أدرنا ، في التجربة التاسعة ، المنشور حول محوره حتى أصبحت الأشعة التي تعبره الى الهواء والمنكسرة عند قـاعدتـه ، مائلة على هـذه الأخيرة مـا يكفي لأن تبدأ هـذه الأشعة بالانعكاس الكلّي . وقد رأينا أن الأشعة المذكورة كانت الأولى بالانعكاس الكلّي ، كما كانت قد تعرّضت سابقاً لأكبر انكسـار ، في حين كان ورودهـا مساويـاً لورود باقي الأشعة . ويتم الشيء نفسه في الانعكاس الذي تحدثه قاعدة المنشورين المشتركة في التجربة العاشرة .

القضية الرابعة

مسألة ا

« كيف نجعل بعض الأشعة غير المتجانسة لضوء مركّب ينفصل عن بعضها الآخر » .

في التجربة الثالثة ، انفصل بعض الأشعة غير المتجانسة بطريقة ما عن بعضها الآخر ، بفعل الانكسار في المنشور : وقد أصبح هذا الانفصال تاماً في الجوانب الخطية للصورة الملوّنة ، عندما نزعنا منها شبه الظل . ان الضوء يصبح معقّد التركيب بالعدد الذي لا يحصى من الدوائر المرتسمة في الأماكن المحصورة بين هذه الجوانب الخطية ، والتي يضاء كل منها بالتخصيص بأشعة متجانسة . يحدث ذلك عندما يستبق بعض هذه الدوائر بعضها الآخر فتمتزج في جميع الأماكن بين الجوانب الخطية المذكورة : فإن العدد الذي لا يحصى من الدوائر المذكورة في التجربة الخامسة ، والمضاء كل منها بالتخصيص بأشعة متجانسة ، يجعل الضوء كثير التركيب عندما يدخل بعض هذه الدوائر في بعضها الآخر ويمتزج به في كل مكان . لكننا لو استطعنا تصغير قطر هذه الدوائر ، بينما تحافظ مراكزها على أوضاعها وعلى المسافة الفاصلة بينها ، لخفّ تداخلها ولقل بالتالي مزيج الأشعة غير المتجانسة بالنسبة ذاتها .



شكل 23

لنعتبر ، في الشكل الثالث والعشرين AG و BH و CI و DK و EL و FM ،

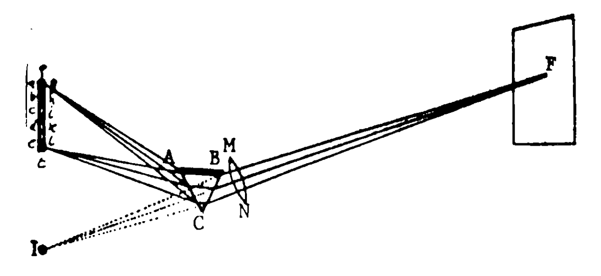
الدوائر المضاءة بالمقدار نفسه من أنواع الأشعة المتأتية من قرص الشمس ذاته ، كما رأينا في التجربة الثالثة . من هذه الدوائر ومن عدد غير متناه من الدوائر الأخرى المتوسطة والممتدة الواحدة تلو الأخرى بين الخطين المتوازيين AF وGM، تتألف صورة الشمس المتطاولة PT بالطريقة التي شرحناها في التجربة الخامسة . ولنعتبر ag و bh و ci و dk و el و fm المقدار نفسه من الدوائر الأصغر الممتدة ، بالترتيب ذاته ، بين خطين مستقيمين ومتوازيين af و gm (وقد حافظنا على المسافات ذاتها بين مراكز الدوائر) . ولنفرض أن هذه الدوائر قد أضيئت بنفس أنواع الأشعة ، أي أن الدائرة ag أضيئت بنفس نوع الأشعة الذي أضيئت به الدائرة المقابلة AG ، والدائرة bh بنفس نوع الأشعة الذي أضيئت به الدائرة المقابلة BH ، وقد أضيء باقي الدوائر ci و dk و el و fm بنفس أنواع الأشعة التي أضيئت بها الدوائر المقابلة CI و DK و EL وFM . ففي الشكل PT المركب من الدوائر الأكبر ، ترابطت ثلاث من هذه الدوائر ، AG و BH و CI ، وامتزجت لدرجة أن الأنواع الثلاثة من الأشعة التي أضاءتها ، مع عدد غير متناه من أنواع الأشعة المتوسطة الأخرى ، قد امتزجت في QR في وسط الدائرة BH : اننا نجد المزيج ذاته على كل طول الشكل PT تقريباً . أما في الشكل pt المركّب من الدوائر الأصغر ، فإن الدوائر الصغيرة الثلاث ag و bh و ci ، المقابلة للدوائر الأكبر التي أشرت اليها سابقاً ، لا تمتد الواحدة في الأخرى . حتى إن نوعين من أنواع الأشعة الثلاثة لم يمتزجا ولو جزئياً ، بينما امتزجت الأنواع الثلاثة كلها عند QR في الشكل PT .

لكن الذي ينظر الى الأمور بهذه الطريقة يفهم بسهولة أن مزيج الأشعة يقلّ بنسبة صغر قطر الدوائر . فلو جعلنا أقطار الدوائر أصغر ثلاث مرات من السابق ، في حين أبقينا على المسافة الفاصلة بينها ، لأصبح المزيج أقلّ بثلاث مرات : واذا جعلناها أصغر عشر مرات لقلّ المزيج عشر مرات وهكذا دواليك . أي أن مزيج الأشعة في الشكل الأكبر PT الى المزيج في الشكل الأصغر pt ، هو بنسبة خط عرض الشكل الأكبر الى خط عرض الشكل الأصغر . لأن خطوط عرض هذه الأشكال تساوي أقطار دوائرها . وهذا يستتبع حتماً أن يكون مزيج الأشعة في الصورة المكسورة pt الى مزيج الأشعة في ضوء الشمس المباشر بنسبة عرض هذه الصورة الى الفرق الموجود بين طولها وعرضها .

إذا أردنا اذاً أن نضعف مزيج الأشعة ، يجب علينا تصغير أقطار الدوائر . وهذا ما نفعله اذا استطعنا تصغير قطر الشمس ، الذي تقابله الأقطار المذكورة ، بأن نضع خارج الغرفة ، وعلى مسافة بعيدة عن المنشور وباتجاه الشمس ، جسماً كمداً ذا ثقب دائري في وسطه ، ممّا يحجب كل ضوء الشمس باستثناء ما يأتي من وسط جسم

الشمس واصلاً الى المنشور عبر الثقب المذكور . بهذه الطريقة سوف لن تقابل الدوائر ، AG و BH والأخرى الباقية ، قرص الشمس الكامل ، بل تقابل فقط الجزء من الشمس الممكن رؤيته من المنشور عبر هذا الثقب، أي الكبر الظاهري للثقب ، مرئياً من مكان وجود المنشور . ولكن لكي تستطيع هذه الدوائر أن تقابل الثقب بوضوح أكثر ، يجب علينا أن نضع قرب المنشور عدسة تجعل صورة الثقب (أي كلاً من الدوائر AG و BH ... الخ) تقع بوضوح على ورقة في PT ، بالطريقة ذاتها التي تجعل فيها عدسة ، موضوعة أمام نافذة ، صور الأشياء الخارجية ترتسم بوضوح على ورقة داخل الغرفة ، أو كما سجّلنا بوضوح وبدون أي شبه ظل ، الجوانب الخطية لصورة الشمس المتطاولة ، في التجربة الخامسة . اذا اتّبعنا هذه الوسيلة ، لا يعود ضرورياً أن نضع الثقب بعيداً جداً ، ولا حتى خلف النافذة . ولهذا السبب استغضت عن الثقب هذا بواحد أقمته في دفّة نافذتي واستخدمته كما سترون لاحقاً .

التجربة الحادية عشرة : وضعت في ضوء الشمس ، الداخل الى غرفتي المظلمة من ثقب دائري أقمته في دفة نافذتي ، عدسة موضوعة على بعد عشرة أقدام أو احد عشر قدماً تستطيع بواسطتها صورة الثقب أن تقع واضحة على ورقة بيضاء موضوعة على بعد ستة أقدام أو ثمانية أو عشرة أو احد عشر قدماً من العدسة . وذلك لأنني كنت أضع الورقة ، تبعاً لاختلاف العدسات ، على مسافات مختلفة لا يجدر ، حسب رأيي ، أن أحدّدها هنا بالتفصيل . ثم وضعت ، مباشرة بعد العدسة ، منشوراً يجعل الضوء العابر يقع عالياً أو جانبياً بفعل الانكسار ، ممّا حوّل الصورة الدائرية التي أوقعتها العدسة ، وحيدة ، على الورقة ، الى صورة متطاولة ذات جوانب متطاولة ، كما رأينا في التجربة الثالثة . ثم أوقعت هذه الصورة المتطاولة على ورقة أخرى موجودة على المسافة ذاتها تقريباً من المنشور ، وضرت أقرّب الورقة أو أبعدها حتى وجدت المسافة الصحيحة التي ترتسم عندها الجوانب الخطية للصورة بالشكل الأوضح . ان صور الثقب الدائرية الصغيرة والتي كانت تؤلف الصورة المتطاولة ، تماماً كما تؤلف الدوائر ag و bh و ci ... الخ الشكل pt (شكل 23) ، أصبحت الآن محدّدة بكثير من الوضوح ومن دون أي شبه ظل . وبما أنها لا تتداخل الاّ بأقل قدر ممكن ، فقد أصبح مزيج الأشعة غير المتجانسة أقل ما يمكن . وهكذا أنشأت صور متطاولة (مثل pt في الشكلين 23 و 24) من صور ثقب النافذة الدائرية (مثل ag و bh و ci ... الخ .) . وعندما كبَّرت هذا الثقب أو صغّرته ، أصبحت الصور الدائرية ag و bh وci ... الخ ، والتي كانت الصورة المتطاولة pt تنشأ منها ، أكبر أو أصغر حسب رغبتي ، ممّا سمح لي أيضاً بجعل مزيج الأشعة في الصورة pt بالقدر الذي كنت أرغب فيه .

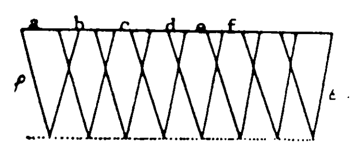


شكل 24

شرح : في الشكل الرابع والعشرين يمثـل F الثقب الدائري المقـام في دفّة النافذة ، وMN العدسة التي ترتسم بواسطتها صورة هذا الثقب بوضوح على ورقة في I و ABC المنشور الذي يكسر الأشعة ، المتجهة الى I عند خروجها من العدسة ، من I الى ورقة أخرى في pt ، والذي يحوّل أيضاً الصورة الدائرية في I الى صورة متطاولة pt عند وقوعها على هذه الورقة الأخيرة . تتألف هذه الصـورة pt من دوائر مـوضوعـة الواحدة بعد الأخرى بترتيب خطّي ، كما شرحنا باسهاب في التجربة الخامسة : ان هذه الدوائر تساوي الدائرة I ويقابل كبرها بالتالي كبر الثقب F . فإذا صغّرنا هذا الثقب نستطيع تصغير هذه الدوائر كما نريد . بينما تبقى مراكزها في الأماكن ذاتها . بهذه الوسيلة حدث أن جعلت عرض الصورة pt أربعين أو ستين أو سبعين مرّة أقـل من طولها . فإذا كان عرض الصورة مثلاً عِشْر بوصة وكانت المسافة MF بين العـدسة والثقب 12 قدماً ، وكانت المسافة pB أو pM ، من الصورة pt الى المنشـور أو الى العدسة ، 10 أقدام ، وكانت زاوية المنشور الكاسرة 62 درجة ، فإن عرض الصورة pt سيكون 1/12 من البوصة وطولها ست بوصات تقريباً : سيكون اذاً طول الصورة الى عرضها بنسبة 72 الى 1 ، وسيكون ضوء هذه الصورة بالتالي احدى وسبعين مرّة أقل تركيباً من ضوء الشمس المباشر . ان ضوءاً بسيطاً ومتجانساً لهذه الدرجة يكفي أن نقيم عليه جميع التجارب التي يشملها هذا الكتاب ، لأن تركيب أشعة غير متجانسة في هذا الضوء قليل الأهمية حتى إن العين تكاد لا تكتشفه أو تلاحظه الّا بصعوبة بالغة ، ربما باستثناء اللونين النيلي والبنفسجي . وذلك لأن هذين اللونين قاتمان ، فالضوء الخفيف المشتّت ، والذي ينكسر عادة بشكل غير منتظم بفعل عدم تجانس المنشور ، يؤثر عليهما بشكل محسوس .

يستحسن أن نستعيض عن الثقب الدائري F بثقب متطاول على شكل متوازي الضلوع parallelogram يكون الطول فيه موازياً للمنشور ABC. لأنه إذا كـان طول هذا الثقب بوصة أو اثنتين وعرضه عشراً أو واحداً من عشرين من البوصة أو أقل، فإن ضوء الصورة pt يصبح على قدر كبـير من البساطـة أو حتى أبسط ممّا ذكـرنا

سابقاً، وتصبح الصورة أعرض بكثير، ممّا يجعل الضوء بالتالي أكثر مـلاءمة لإقـامة التجارب.



شكل 25

ونستطيع استبدال الثقب المتوازي الضلوع بآخر مثلث ذي جانبين متساويين ، وتكون قاعدته ، مثلاً ، الجزء العاشر من البوصة ، وارتفاعه بوصة أو أكثر . فإذا كان محور المنشور موازياً لرأسي هذا المثلث ، ستتكون الصورة pt (في الشكل الخامس والعشرين) من مثلثات متساوية الضلعين ag و bh و ci و dk و el و fm ... الخ ومن عدد لا يحصى من مثلثات أخرى متوسطة ، يتناسب كبرها وشكلها مع الثقب المثلث ، ويمتد الواحد منها تلو الآخر بين خطّين متوازيين af و gm . تتداخل هذه المثلثات قليلاً عند قواعدها وليس عند قممها . ولذلك نجد الضوء مركّباً قليلاً من الجهة الأكثر لمعاناً af في الصورة حيث توجد قواعد المثلثات ، وغير مركب أبداً* من جهتها الأكثر عتمة gm . أما جميع أجزاء الصورة بين الخطين فهي كثيرة أو قليلة التركيب تبعاً لبعدها أو قربها من الجهة الأكثر عتمة gm . وعندما يكون عندنا صورة pt بمثل هذا التركيب ، نستطيع إقامة التجارب على الضوء الأقوى والأقل بساطة ، قرب الجهـة af ، أو على الضوء الأضعف والأبسط قرب الجهة الأخرى gm ، وذلك حسب ما يناسبنا .

يجب علينا ، عندما نقيم تجارب من هذا النوع ، أن نجعل الغرفة مظلمة بقدر المستطاع ، حتى لا يمتزج أي ضوء غريب بضوء الصورة pt فيقضي على البساطة التي ذكرناها ، وبخاصة اذا أردنا القيام بتجارب على الضوء الأبسط قرب الجهة gm من الصورة : لأن هذا الضوء هو الأضعف ، فنسبته الى الضوء الغريب هي أضعف من نسبة أي ضوء آخر ، واذا امتزج الضوء الغريب به فسيجعله عكراً وأكثر تركيباً. لذلك وجب أن تكون العدسة جيدة ، أي ملائمة للعمليات البصرية ، وان تكون زاوية المنشور كافية الانفتاح ، من 60 أو 70 درجة مثلاً ، وأن يكون هذا المنشور جيد الصنع من زجاج خال من الفقاقيع والعروق ، وأن تكون واجهاته مطلقة الاستواء ، لا قليلة التحديب أو التقعير كما نجدها عادة ، وأن يكون مصقولاً كما تصقل زجاجات المقراب ، من غير استعمال السباكة التي تحك جوانب الثقوب التي يقيمها الرمل ممّا يترك على كل الزجاج عدداً غير متناه من تضاريس صغيرة جداً ، مصقولة ومحدّبة تشبه الموجات . ويجب أيضاً أن تغطّى جوانب المنشور والعدسة ، في جميع الأماكن التي يمكنها أن تنتج أي

انعكاس غير منتظم ، بورق أسود يلصق بها . ويجب أن يُصدّ هذا الجزء العديم النفع من ضوء الحزمة الشمسية المدخلة الى الغرفة ، بواسطة ورق أسود أو بأي جسم آخر بهذا اللون . لأنه بخلاف ذلك يمتزج الضوء العديم النفع ، والمنعكس من جميع جهات الغرفة ، بالصورة المتطاولة ويسهم بتشويشها . ليست هذه الدقة كلها ضرورية بشكل مطلق في هذا النوع من التجارب ، لكنهـا تجعل نجـاحها أكثـر حساسيـة ، وسيجد المراقب الدقيق دائماً أنها تستحق أن تطبّق . وأخيراً ، وبسبب صعوبة ايجاد مناشير ذات زجاج ملائم لهذا الهدف ، فقد استخدمت أحياناً أوعية منشورية صنعتها من قطع مرآة زجاجية وملأتها من مياه الأمطار . ولكي أزيد الانكسار أذبت في الماء أحياناً كمية كافية من ملح الرصاص .

القضية الخامسة

مبرهنة ١٧

«ينكسر الضوء المتجانس بانتظام من غير أن تتمدّد الأشعة أو تنقسم أو تتشتّت. وتكون رؤية الأشياء غير واضحة (مشوشة) إذا نظرنا اليها عبر أجسام كاسرة وهي مضاءة بضوء غير متجانس، وذلك بفعل اختلاف انكسارية أنواع الأشعة المختلفة».

لقد رأينا في التجربة الخامسة براهين كافية لإثبات صحة الجزء الأول من هذا الاقتراح ، وسنرى ذلك أيضاً بوضوح أكبر في التجارب التالية .

التجربة الثانية عشرة : لقد أقمت ، في وسط قطعة من الورق الأسود ، ثقباً دائرياً يقارب قطره خمس البوصة أو سدسها . وأوقعت على هذه الورقة صورة من ضوء متجانس كالتي ذكرنا في الاقتراح السابق بحيث يمرّ جزء معيّن من الضوء من خلال ثقب الورقة . ثم كسرت هذا الجزء العابر من الضوء بواسطة منشور موضوع خلف الورقة ، وجعلت الضوء المكسور هذا يقع عمودياً على ورقة بيضاء موضوعة على مسافة قدمين أو ثلاثة أقدام من المنشور . فوجدت أن الصورة التي رسمها هذا الضوء على هذه الورقة البيضاء لم تكن متطاولة ، كما حدث في التجربة الثالثة بانكسار ضوء الشمس المركّب ، بل كانت (حسب تقديري بالعين المجرّدة) دائرية تماماً ، بمعنى أن طولها لم يكن أكبر من عرضها : ممّا يعني أن هذا الضوء قد انكسر بانتظام من غير أي تمدد في الأشعة .

التجربة الثالثة عشرة : وضعت أمام الضوء المتجانس ورقة دائرية قطرها ربع بوصة . ووضعت ورقة دائرية أخرى ، لها القطر ذاته ، أمام حزمة من ضوء الشمس الأبيض غير المكسور وغير المتجانس . ثم ابتعدت عدة أقدام عن هاتين الورقتين ونظرت اليهما من خلال منشور . فبدت الدائرة ، المضاءة بضوء الشمس غير

المتجانس ، كما في التجربة الرابعة ، كثيرة التطاول ، بطول أكبر عدة مرات من العرض. أما الدائرة الأخرى المضاءة بضوء متجانس فقد بدت دائرية ومحدّدة بوضوح كما لو كنا نراها مباشرة بالعين، وهذا يبرهن الاقتراح كلياً.

التجربة الرابعة عشرة : لقد عرّضت ذباباً وأجساماً أخرى صغيرة لضوء متجانس ، ونظرت اليها من خلال منشور فرأيت أجزاءها بالقدر ذاته من الوضوح الذي كنت أجده عندما أنظر اليها بالعين مباشرة . ثم نظرت عبر منشور الى الأجسام ذاتها عند تعريضها لضوء من الشمس أبيض غير متجانس وغير مكسور ، فرأيتها تنتهي بغموض شديد بحيث لم أستطع أن أميّز أجزاءها الصغيرة جدا . وعرّضت أيضاً أحرف طباعة دقيقة جدا ، لنور متجانس أولاً ثم لنور غير متجانس ، ونظرت اليها عبر منشور، فبدت لي في الحالة الأخيرة غير واضحة لدرجة أنني لم أستطع قراءتها، أما في الحالة الأولى فقد بدت واضحة الى درجة أنني استطعت قراءتها بسهولة كبيرة كما لو كنت أنظر اليها بعيني مباشرة. كنت، في هاتين الحالتين المذكورتين، أنظر الى الأجسام ذاتها، في الوضعية ذاتها، ومن خلال المنشور ذاته، وعلى المسافة ذاتها. لم يكن هنالك إذاً أي فرق باستثناء الضوء الذي كانت تضاء به هذه الأجسام، وهذا الضوء كان بسيطاً في احدى الحالتين ومركّباً في الأخرى: من هنا نرى أن الرؤية الواضحة في الحالة الأولى والمشوشة في الثانية لم تنتجا إلّا من هذا الفرق في الضوءين، ممّا يبرهن كامل الاقتراح.

هنالك ، على كل حال ، شيء جدير بالملاحظة في هذه التجارب الثلاث ، وهو أن لون الضوء المتجانس لم يتبدّل أبداً بفعل الانكسار .

القضيـة السـادسـة

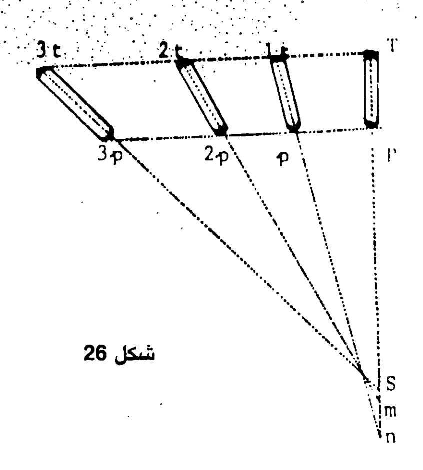
مبرهنة 7

« هنالك نسبة معيذ ة بين جيب ورود كل شعـا ع ، مأخـوذ على حدة ، وجيب انكساره » .

يبدو ممّا ذكرنا حتى الآن ، أن كل شعاع مأخوذ على حدة ملتزم طبيعياً بدرجة معينة من الانكسارية . إن الأشعة الأكثر انكساراً في الانكسار الأول ، وبحال ورود متساو ، هي أيضاً ، في هذه الحال الأكثر انكساراً في الانكسارات اللاحقة . كـذلك أيضاً بالنسبة للأشعة الأقل انكساراً ولكل أشعة ذات درجة انكسارية متوسطة ، كما نرى في التجربة الخامسة والسادسة والسابعة والثامنة والتاسعة . والأشعة المتعادلة الانكسار للمرة الأولى ، في حال تعادل الورود ، هي أيضاً في المرات الأخرى متعادلة الانكسار ، وبانتظام ، في حال تعادل الورود . هذا اذا حدث الانكسار قبـل انفصال بعضها عن البعض الآخر ، كما في التجربة الخامسة ، أو بعده كما في التجربة الثانية عشرة والثالثة عشرة والرابعة عشرة . لذلك فإن انكسار كل شعاع ، مأخوذ على حدة ، هو انكسار منتظم . وسوف نظهر الآن القاعدة التي يتبعها هذا الانكسار .

إن آخر الذين كتبوا في البصريات يرشدون إلى أن جيـوب الورود هي بنسبة معيّنة الى جيوب الانكسار ، كما شرحنا في الموضوعة الخامسة . ويؤكد بعضهم ، من الذين درسوا هذه النسبة بواسطة بعض الآلات الملائمة لقياس الانكسار أو بواسطة بعض التجارب ، أنهم وجدوا هذه النسبة صحيحة جداً . ولكنهم ، بسبب عـدم فهم اختلاف انكسارية الأشعة المختلفة ، اعتقدوا أن كل الأشعة كانت تنكسر تبعاً لنسبة واحدة ووحيدة . أعتقد أنهم قد وافقوا قياساتهم مع الجزء المتوسط فقط من الضوء المكسور ، بحيث إن كلّ ما نستطيع استخلاصه من قياساتهم هو أن الأشعة المتوسطة الانكسارية ، أي التي تبدو خضراء عند انفصالها عن غيرها ، تنكسر تبعاً لنسبة معينة

من جيوبها . ويجب عليّ الآن أن أُظهر أن هذه النسب موجودة عند كل الأشعة الأخرى . وهذا معقول جداً لكون الطبيعة منسجمة دائماً مع نفسها : لكن المطلوب هو برهان مبني على التجربة . وهذا البرهان موجود فعلاً ، اذا استطعنا أن نظهر أن بين جيوب انكسار بعض الأشعة المختلفة الانكسارية وبعضها الآخر نسبة معيّنة في حين تكون جيوب الورود متساوية . لأنه اذا كانت جيوب انكسار كل الأشعة هي بنسب معيّنة الى جيب انكسار شعاع ذي درجة انكسارية متوسطة ، واذا كان هذا الجيب بنسبة معينة الى جيوب الورود المتساوية ، فإن جيوب الانكسار الأخرى تصبح بنسب معينة الى جيوب الورود المتساوية . أما أن تكون جيوب الانكسار بنسبة معينة الى بعضها عندما تكون جيوب الورود متساوية ، فهذا ما سيظهر في التجربة التالية .



شكل 26

التجربة الخامسة عشرة : بما أن نور الشمس يدخل الى الغرفة المظلمة من ثقب دائري صغير أقيم في دفّة النافذة ، فلنعتبر S صورة الشمس الدائرية البيضاء التي يرسمها ضوؤها المباشر على الحائط المقابل . ولتكن PT صورتها المتطاولة الملوّنة الناشئة عن كسر هذا الضوء بواسطة منشور موضوع أمام النافذة . ولتكن ، أخيراً ، pt أو 2p2t أو 3p3t صورتها المتطاولة الملوّنة الناشئة أيضاً عن كسر الضوء ذاته جانبياً ، بواسطة منشور موضوع مباشرة بعد الأول ويعارضه بالطريقة التي شرحناها في التجربة الخامسة ، أي pt عندما يكون الانكسار في المنشور الثاني صغيراً ، و 2p2t عندما يكون هذا الانكسار أكبر ، و 3p3t عندما يكون الأكبر . فهكذا يكون تنوّع الانكسارات اذا اختلف كبر زاوية المنشور الثاني الكاسرة ، كأن تكون خمس عشرة أو عشرين درجة لانشاء الصورة pt ، أو ثلاثين أو أربعين درجة لتكوين الصورة 2p2t ، أو ستين لإقامة الصورة 3p3t . وبسبب عدم وجود مناشير صلبة من الزجاج ، يكون كبر زواياها مناسباً ، نستطيع استخدام أوعية ، مصنوعة من ألواح

الزجاج المصقول ومجصّصة الى بعضها على شكل مناشير، ومملوءة بالماء. وبعد ترتيب الأمور بهذا الشكل، لاحظت ان جميع صور الشمس الملونة PT و pt و 2p2t و 3p3t تتقارب بشدة في S، حيث كان ضوء الشمس المباشر يقع راسماً صورتها الدائرية البيضاء حالما نسحب المناشير. وإذا مددنا محور الصورة PT، أي الخط المسحوب من وسط هذه الصورة موازياً لجوانبها الخطية، فإنه يمر تماماً في وسط الصورة الدائرية البيضاء S. وعندما كان الانكسار في المنشور الثاني مساوياً للانكسار في الأول، وكانت زاوية كسر المنشورين 60 درجة تقريباً، فإن امتداد محور الصورة 3p3t، الناشئة عن هذا الانكسار يمر أيضاً في وسط صورة الشمس S ذاتها، الدائرية البيضاء. لكن عندما كان الانكسار في المنشور الثاني أقل مما هو في المنشور الأول، فإن امتداد محوري الصورتين pt أو 2p2t، الناشئتين عن هذا الانكسار، يقطع امتداد محور الصورة pt في النقطتين n وm، خلف مركز الصورة الدائرية البيضاء S قليلاً. لذلك كانت نسبة الخط 3tT إلى الخط 3pP أكبر بقليل من نسبة 2tT الى 2pP، وكانت هذه النسبة الأخيرة أكبر بقليل من نسبة tT إلى pP، إلّا أنه حين يقع ضوء الصورة PT عمودياً على الحائط، تكون هذه الخطوط، 3tT و3pP و2tT و2pP وtT وpP، مماسّات tangent الانكسارات. وبالتالي فإن هذه التجربة تعطينا نسب مماسّات الانكسارات، مما يسمح لنا باستخلاص نسب الجيوب. ولقد وجدتها متساوية، بقدر ما كانت رؤيتي للصور جيدة، وبمساعدة تعليل رياضي، دونما القيام بحسابات رياضية محدّدة وكاملة الدقة. وهكذا وجدت أن الاقتراح صحيح بالنسبة لكل شعاع مأخوذ على حدة، بقدر ما ظهر ذلك في التجربة. ونستطيع أن نبرهن أن ذلك صحيح بكل دقة، بواسطة الافتراض التالي: «إن الأجسام تكسر الضوء بالتأثير على أشعته تبعاً لخطوط عمودية على سطوحها». وحتى نصل الى البرهان المطلوب يجب علينا أن نميّز حركة الشعاع الى حركتين، الواحدة منهما عمودية على السطح الكاسر، والأخرى موازية له، وأن نفرض الاقتراح التالي بالنسبة للحركة العمودية. إذا وقع أي جسم متحرك، أيّاً كانت سرعته، على أي مكان واسع ورقيق ينتهي من جهتيه بمستويين متوازيين، وكان عند عبوره هذا المكان مدفوعاً عمودياً باتجاه المستوي الأبعد بفعل قوة ذات كمية معيّنة على مسافات معينة من هذا المستوي: فإن السرعة العمودية لهذا الجسم تكون دائماً، عند خروجه من المكان المذكور، مساوية للجذر المربّع لجمع مربع السرعة العمودية التي كان عليها هذا الجسم عند وروده الى هذا المكان مع مربع السرعة العمودية التي كان عليها هذا الجسم عند وروده الى هذا المكان مع مربع السرعة العمودية التي سيكون عليها عند خروجه، هذا إذا كانت سرعته العمودية عند وروده غير متناهية في الصغر.

ويكون الاقتراح ذاته صحيحاً بالنسبة لأي جسم متحرك يتأخر عمودياً عند عبوره

هذا المكان ، اذا استعضنا عن جمع المربّعين بفرقهما . إن الرياضيين لا يجدون صعوبة في برهان ذلك ، ممّا يدفعني الى عدم ازعاج القارىء به .

لنفترض الآن أن شعاعاً يقع بكثير من الميول على الخط MC (شكل 1) ويكسره المستوي RS في C تبعاً للخط CN . فما هو الخط CE الذي يتبعه أي شعاع آخر منكسر AC ؟ لنعتبر MC و AD جيبي ورود الشعاعين ، و NG و EF جيبي انكسارهما . ولنمثل الحركتين المتساويتين للشعاعين الواردين بالخطين المتساويين MC و AC . واذا اعتبرنا الحركة MC موازية للمستوي الكاسر RS ، فلنميّز الحركة الأخرى AC بحركتين AD و DC ، حيث احداهما AD موازية للسطح الكاسر RS والأخرى عمودية عليه . ولنميّز أيضاً حركتي الشعاعين الخارجين الى جزءين، تكون العمودية منها MC/NG CG و AD/EF CF.

لنفرض أن قوة المستوي الكاسر تبدأ بالتأثير ، من جهة على الأشعة ، في المستوي ذاته أو على مسافة معينة منه ، وتنتهي على مسافة معينة من المستوي ، من الجهة الأخرى . ولنفرض أن هذه القوة تؤثر على الأشعة تبعاً لخطوط عمودية على المستوي الكاسر ، وان تأثيراتها على الأشعة ، على مسافات متساوية من المستوي الكاسر ، تكون متساوية ، أو تكون متساوية أو غير متساوية بالنسب التي نريد ، وذلك على مسافات غير متساوية : فإن حركة الشعاع هذه ، الموازية للمستوي الكاسر ، لا تتعرض لأي تغيير بفعل القوة المذكورة ، أما الحركة العمودية على المستوي المذكور فتتغيّر تبعاً لقاعدة الاقتراح السابق. فلو كتبنا إذاً، في ما يخص سرعة الشعاع الخارج العمودية CN، MC/NG CG ، كما هو أعلاه لأصبحت سرعة أي شعاع خارج آخر CE العمودية ، والتي كانت AD/EF CF ، مساوية للجذر المربع من CDq+Mcq/NGq CGq . واذا أخذنا مربعات هذه الكميات المتساوية وزدناها الكميتين المتساويتين ADq و MCq-CDq ، ثم قسمنا المجموع بالكميات المتساوية CFq+EFq و CGq-NGq ، لحصلنا على ADq/EFq مساوياً MCq/NGq . وبالتالي ، فإن AD ، جيب الورود ، هو بالنسبة الى EF ، جيب الانكسار المقابل ، كما هو MC الى NG ، أي بنسبة معينة . إن هذا البرهان كان عامّاً ، من غير تحديد ماهية الضوء ، أو نوع القوة التي كسرته ، ومن دون أي افتراض سوى أن « الجسم العاكس يؤثر على الأشعة باتجاه الخطوط العمودية على السطح ، لذلك فإنني احتفظ بما ورد كبرهان مقنع جداً على حقيقة هذا الاقتراح المطلقة».

وهكذا ، اذا عُرِفَتْ نسبة جيبي ورود وانكسار نوع معيّن من الأشعة في حالة ما ، فإنها ستكون ذاتها ، لهذا النوع من الأشعة ، في جميع الحالات الأخرى . وهذا ما سنجده بسهولة بالطريقة التي سوف نعرضها في الاقتراح اللاحق .

القضية السابعة

مبرهنة VI

« إن ما يمنع المقرابات من أن تكون تامة ، هو الاختلاف في انكسارية أشعة الضوء » .

نعزو ، عادة ، عيوب المقرابات الى كروية زجاجاتها . لذلك اقترح الرياضيون صنع هذه الأخيرة بشكل مقاطع مخروطيّة . ولتبيان خطئهم أدخلت هنا هذا الاقتراح الذي تظهر صحته بواسطة قياسات انكسارات الأنواع المختلفة من الأشعة ، والتي أحدّدها كالتالي:

في التجربة الثالثة من هذا الكتاب الأول ، وحيث كانت زاوية المنشور الكاسرة 62 درجة ونصف الدرجة ، فإن نصف هذه الزاوية ، أي 31 درجة و 15 دقيقة ، هو زاوية ورود الأشعة عند خروجها من الزجاج الى الهواء . أما جيب هذه الزاوية الأخيرة فهو 5188 ، عندما يكون الشعاع أو نصف القطر 10000 . وحين كان محور المنشور موازياً للأفق ، وكان انكسار الأشعة ، عند ورودها على المنشور ، مساوياً لانكسارها عند خروجها منه ، فقد راقبت ، بواسطة ربع دائرة ، الزاوية التي كانت الأشعة المتوسطة الانكسارية تقيمها مع الأفق ، وهي الأشعة التي كانت تذهب الى وسط صورة الشمس الملوّنة . ولقد وجدت ، بواسطة هذه الزاوية وارتفاع الشمس المراقب في الوقت ذاته ، ان الزاوية التي تقيمها الأشعة الخارجة مع الأشعة الواردة كانت 44 درجة و 40 دقيقة . أما مجموع نصف هذه الزاوية مع زاوية الورود ، المساوية 31 درجة و 15 دقيقة ، فيساوي زاوية الانكسار التي هي بالتالي 53 درجة و 35 دقيقة وجيبها 8047 . لقد رأينا هنا جيبي ورود الأشعة المتوسطة الانكسارية وانكسارها ، أما نسبتهما بأعداد مدوّرة فهي من 20 إلى 31. ان لون زجاج هذا المنشور كان يميل الى الأخضر. أما آخر المناشير التي تحدّثنا عنها في التجربة الثالثة فكان بلون أبيض فاتح جداً. وكانت زاويته الكاسرة 63 درجة ونصف الدرجة: الزاوية التي تقيمها الأشعة الخارجة مع

الأشعة الواردة 45 درجة و50 دقيقة: جيب نصف الزاوية الأولى 5262 وجيب نصف جمع الزاويتين 8157: ونسبتهما، بأعداد مدوّرة، مثل 20 إلى 31، كما في السابق.

اذا أنقصنا عرض الصورة ، وهو بوصتان وثُمن البوصة ، من طولها البالغ تقريباً 9 بوصات وثلاثة أرباع البوصة، أو عشر بوصات ، فإن الباقي ، وهو تقريباً 7 بوصات وثلاثة أرباع البوصة ، يكون طول الصورة لو كانت الشمس نقطة فقط . ويكون هذا الباقي المذكور ضمَّ طَرَفي الزاوية بين الأشعة الأكثر انكسارية والأشعة الأقل انكسارية الواقعتين على خط واحد على المنشور ، وذلك عند خروجهما منه . لذا تكون هذه الزاوية 2 درجة و0′ و7″، لأن المسافة بين الصورة ومكان المنشور ، حيث تنشأ هذه الزاوية ، كان 18 قدماً ونصف القدم ، وعلى هذه المسافة يضمّ الوتر ، بطول 7 بوصات وثلاثة أرباع البوصة ، طَرَفي زاوية قدرها 2 درجة و0′ و7″. لكن نصف هذه الزاوية هو الزاوية التي تقيمها هذه الأشعة الخارجة مع الأشعة الخارجة المتوسطة الانكسارية . ويمكننا أن نعتبر ربع الزاوية ذاتها ، أي30′ و2″الزاوية التي تقيمها هذه الأشعة الخارجة مع نفس الأشعة الخارجة ذات الانكسارية المتوسطة ، وذلك لو كانت الأشعّتان متطابقتين في الزجاج ولا تتعرضان لأي انكسار غير الذي تتعرّضان له عند خروجهما من هـذا الزجاج . فلو أبعد انكساران متساويان ، الواحد منهما عند ورود الأشعة الى المنشور والآخر عند خروجها منه ، الشعاعين الأكثر والأقل انكسارية ، عند خروجهمـا ، عن الشعاع المتوسط الانكسارية، وذلك بزاوية تساوي نصف 2° و0′ و7″تقـريباً، لنتـج من هـذا أن أحـد هـذين الانكسـارين يجعـل، وحـده، الشعـاعـين الأكثـر والأقـل انكسارية، يبتعدان، عند خروجهما، عن الشعاع المتوسط الانكسارية بزاوية ربـع 2° و0′ و7″ إذا زيد هذا الربع إلى زاوية انكسار الأشعة المتوسطة الانكسارية، وهي 53 درجة و35′، وأُنقص من هذه الزاوية ذاتها، فإنـه يعطي زاويتي انكسار الأشعتـين، الأكثـر والأقل انكسـارية، وهمـا 54 درجة و5′ و2″. والأخـرى 53 درجة و4′ و58″، ويكون جيباهما 8099 و7995، بينما زاوية الورود المشتـركة 31 درجـة و15′ وجيبها 5188. إن نسب هذه الجيوب، بالأعداد المدوّرة الأقل، هي 78 ,77 ,50.

واذا أنقصنا جيب الورود المشترك 50 من جيبي الانكسـار 77 و 78 ، يظهـر الفرقان 27 و 28 ، في حال الانكسارات الضعيفة ، أن نسبة انكسار الأشعة الأقـل انكسارية الى انكسار الأشعة الأكثر انكسارية تكون شديدة التقارب من نسبة 27 الى 28 ، وأن الفرق بين انكساري الأشعتين الأكثر والأقل انكسارية هو تقريباً الجزء السابع والعشرون والنصف من مجمل انكسار الأشعة المتوسطة الانكسارية .

من هنا ، يستطيع المتمرّس في البصريات أن يستنتج بسهولة أن كبر أقل مكان دائري ، حيث تستطيع زجاجات جسميّات المقرابات أن تجمع جميع أنـواع الأشعة المتوازية ، هو تقريباً الجزء السابع والعشرون والنصف من نصف انفتاح الزجاجة ، أو

الجزء الخامس والخمسون من هذا الانفتاح كله ، وأن بؤرة الأشعة الأكثر انكسارية أقرب الى الجسميّة من بؤرة الأشعة الأقل انكسارية بقدر جـزء من سبعة وعشـرين ونصف تقريباً من المسافة بين الجسميّة وبؤرة الأشعة المتوسطة الانكسارية .

لنفرض أن أشعة ، مهما كان نوعها ، تنساب من أي نقطة مضيئة في محور عدسة محدّبة ، وتتقارب ، بفعل الانكسار في العدسة ، باتجاه نقاط لا تكون كثيرة البعد عن العدسة . إن بؤرة الأشعة الأكثر انكسارية ستكون أقرب الى العدسة من بؤرة الأشعة الأقل انكسارية ، بمسافة تكون نسبتها الى الجزء السـابع والعشـرين والنصف من المسافة بين بؤرة الأشعة المتوسطة الانكسارية والعدسة ، كنسبة المسافة بين البؤرة والنقطة المضيئة التي تنساب منها هذه الأشعة ، الى المسافة بين هذه النقطة المضيئة والعدسة .

ولكي أتأكد اذا كان الفرق بين الانكسارات التي تتعرض لهـا الأشعة الأكثـر انكسارية والأشعـة الأقل انكسـارية المنسـابتان من النقـطة ذاتها ، في جسميّـات المقرابات وفي زجاجات أخرى مماثلة ، هو فعلاً بالقدر الذي وصفناه سابقاً ، فإنني تخيّلت التجربة التالية:

التجربة السادسة عشرة : لقد وضعت العدسة المستخـدمة في التجـربتين الثانية والثامنة على مسافة ستة أقدام وبوصة من أي جسم كـان ، فجمّعتِ الأشعةُ المتوسطة الانكسارية صورةً هذا الجسم على بعد ستة أقدام وبوصة من الجهة الأخرى من العدسة . وبالتالي يفترض بهذه العدسة ، تبعاً للقاعدة السابقة ، أن تجمع صورة هذا الجسم على بعد ستة أقدام وثلاث بوصات وثلثي البوصة من العدسة ، بواسطة الأشعة الأقل انكسارية ، وعلى بعد خمسة أقدام وعشر بوصات وربع البوصـة منها بواسطة الأشعة الأكثر انكسـارية : بحيث يكـون بين المكانين، اللذين جُمّعت فيهمـا الأشعتان المذكورتان الصورة، مسافةُ خمس بوصات وثلث البوصة تقريباً. فتبعاً لهذه القاعدة ، ان نسبة ستة أقدام وبوصة (المسافة بين العدسة والجسم المضيء) الى 12 قـدماً وبـوصتين (المسافـة بين الجسم المضـيء وبـؤرة الأشعـة المتـوسـطة الانكسارية)، هي كنسبة 1 إلى 2، وهكذا تكون نسبة الجزء السابع والعشرون والنصف من ستة أقدام وبوصة (المسافة بين العدسة والبؤرة ذاتها) الى المسافة بين بؤرة الأشعة الأكثر انكسارية وبؤرة الأشعة الأقل انكسارية : فتكون هذه المسافة بالتالي 5 بوصات و 17/55 ، أي شديدة القرب من 5 بوصات وثلث البوصة . ولكن لكي نعرف ما اذا كان هذا القياس صحيحاً ، أعدت التجربتين ، الثانية والثامنة ، مستخدماً ضوءاً ملوّناً أقل تركيباً من الذي استخدمته سابقاً . لأنني ، بفضل الأشعة غير المتجانسة ، كما فعلت في التجربة الحادية عشرة ، أنشأت صورة ملوّنة يزيد طولها اثنتي عشرة أو

خمس عشرة مرة عن عرضها تقريباً ، ثم أوقعتها على كتاب مطبوع ، ووضعت العدسة المذكورة أعلاه على مسافة ستة أقدام وبوصة من هذه الصورة ، لكي أجمع حروف الكتاب المضاءة على المسافة ذاتها من الجهة الأخرى من العدسة . فوجدت أن صور الحروف المضاءة باللون الأزرق أقرب الى العدسة بثلاث بوصات أو بثلاث بوصات وربع البوصة تقريباً ، ممّا كانت عليه صور الحروف المضاءة بالأحمر القاتم . أما الحروف المضاءة باللونين ، النيلي والبنفسجي ، فقد ظهرت على قدر من الغموض لدرجة استحالة قراءتها . لذلك تفحّصت المنشور فوجدته مملوءا بالعروق من طرف الى آخر ممّا جعل الانكسار مستحيل الانتظام . فأخذت منشوراً آخر خالياً من العروق ، واستعضت عن حروف الكتاب بخطين أسودين متوازيين أو بثلاثة ، أعرض من الحروف بقليل. ثم ارسلت الألوان السابقة على هذه الخطوط بحيث قطعت هذه الأخيرة الألوان من طرف الطيف الى طرفه الآخر ، فوجدت أن بؤرة اللون النيلي أو اللون الموجود عند تخوم النيلي والبنفسجي (أي في المكان الذي يوقع هذا اللون فيه صور الخطوط السوداء بأكبر وضوح) كانت أقرب ، 4 بوصات ، أو 4 بوصات وربع البوصة ، الى العدسة من بؤرة اللون الأحمر القاتم ، أي من المكان الذي يوقع هذا اللون فيه صور الخطوط السوداء بأكبر وضوح . وقد كان اللون البنفسجي ضعيفاً ومعتماً لدرجة أنني لم أستطع أبداً أن أميّز بواسطته الصور بوضوح . لذلك افترضت أن المنشور كان مصنوعاً من زجاج معتم يميل الى الأخضر ، فاتخذت منشوراً آخر من زجاج فاتح وأبيض : لكن الطيف الملوّن الناشىء عن هذا المنشور كان يرسل من طرفيه الملوّنين خطوطاً طويلة من ضوء أبيض وضعيف ، ممّا جعلني أستنتج أن شيئاً غير منتظم ما زال موجوداً . وبالفعل ، لقد اكتشفت ، عند مراقبتي المنشور ، فقّاعتين أو ثلاثاً كانت تكسر الضوء بغير انتظام . فغطّيت بورقة سوداء هذا الجزء من الزجاج حيث كانت تظهر هذه الفقاقيع ، وجعلت الضوء يمرّ في القسم الآخر من المنشور والخالي من هذه الفقاقيع ، فظهر الطيف الملوّن حينذاك من غير هذه الاشعاعات غير المنتظمة كما كنت أتمناه . لكنني مع ذلك وجدت اللون البنفسجي معتماً وضعيفاً الى درجة انني كنت أكاد لا أرى صور الخطوط بواسطة هذا اللون ، وكان يستحيل عليّ ، على الاطلاق ، أن أميّز بين هذه الصور في القسم الأعتم من هذا اللون والذي كان قريباً جداً من طرف الطيف . لذا ظننت أن هذا اللون المعتم الضعيف قد امتزج بجزء من الضوء المشتّت الذي انكسر وانعكس بغير انتظام بسبب بعض الفقاقيع الصغيرة المحصورة في الزجاجات من جهة ، وبسبب عدم المساواة في صقل هذه الزجاجات من جهة أخرى . ان هذا الضوء ، وإن كان بكمية صغيرة جداً ، يمكنه بسبب لونه الأبيض أن يؤثر على الرؤية بشدة فيعكّر أثر اللون البنفسجي المعتم والضعيف . فحاولت معرفة ما اذا كان ضوء هذا اللون مركّباً من مزيج هام من الأشعة غير المتجانسة ، كما فعلت في التجربة الثانية عشرة

والثالثة عشرة والرابعة عشرة ، فكانت النتيجة سلبية . لأن الانكسارات لم تُخرِج من هذا الضوء أيَّ لون محسوس آخر غير البنفسجي ، كما كانت تفعل مع الضوء الأبيض ، وكما كان مفروضاً أن تفعل لو كان اللون البنفسجي ممتزجاً بضوء أبيض محسوس . فاستنتجت أن عتمة هذا اللون وضعف ضوئه وبعده عن محور العدسة ، هي الأسباب الوحيدة التي منعتني من رؤية صور الخطوط بوضوح بواسطة هذا اللون . عندئذ قسمت هذه الخطوط السوداء المتوازية الى أجزاء متساوية لكي أعرف بسهولة المسافات الفاصلة بين ألوان الطيف . وسجّلت أيضاً المسافات بين العدسة وبؤر الألوان التي كانت تُسقط صور الخطوط بوضوح . ثم درست نسبة فرق هذه المسافات الى 5 بوصات وثلث البوصة (وهو أكبر فرق ممكن بين بؤرتي اللون الأحمر القاتم واللون البنفسجي حتى العدسة) وهل كانت هذه النسبة تساوي نسبة كل مسافة مقابلة بين الوان الطيف الى أكبر مسافة بين الأحمر القاتم والبنفسجي ، مقيسةً في جوانب الطيف الخطيّة ، أي الى طول هذه الجوانب أو الى زيادة طول الطيف عن عرضه . وسنرى ما أدّت اليه ملاحظاتي .

لقد راقبت وقارنت اللون الأحمر الدقيق الأكثر قتماً واللون الموجود عند تخوم الأخضر والأزرق . وكان هذا الأخير ، عند جوانب الطيف الخطّية ، بعيداً عن الأحمر نصف طول هذه الجوانب . اما بؤرة هذا اللون الموجود عند تخوم الأخضر والأزرق ، أي في المكان الذي يسقط فيه هذا اللون الخطوط واضحة على الورقة ، فقد كانت أقرب الى العدسة من بؤرة الأحمر ، أي في المكان الذي يُسقِط فيه هذا اللون بوضوح الخطوط المذكورة ذاتها ، بمقدار بوصتين ونصف البوصة أو بوصتين وثلاثة أرباع البوصة تقريباً . وذلك لأن القياسات كانت أكبر بقليل أحياناً ، وأصغر بقليل أحياناً أخرى ، ولكن الفرق بينها لم يتعدَّ ثلث البوصة الّا نادراً ، وقد كان من الصعب جداً تحديد أمكنة البؤر من دون أي خطأ صغير . ولكن اذا أعطت الألوان ، البعيدة بعضها عن البعض الآخر بمقدار نصف طول الصورة ، فرقاً في المسافات بين بؤرها والعدسة يساوي بوصتين ونصف البوصة أو بوصتين وثلاثة أرباع البوصة ، فيفترض بالتالي أن تعطي الألوان ، المتباعدة بمقدار كل طول الصورة ، فرقاً في هذه المسافات يساوي 5 بوصات أو 5 بوصات ونصف البوصة .

لكن تجدر الملاحظة هنا ، أنني لم أستطع رؤية اللون الأحمر تماماً حتى طرف الطيف ، بل رأيته فقط حتى مركز نصف الدائرة التي تنهي هذا الطرف ، أو قبله بقليل . لذلك لم أقارن هذا الأحمر باللون الموجود تماماً في وسط الطيف أو في تخوم الأخضر والأزرق ، بل قارنته باللون المائل اكثر بقليل الى الأزرق منه الى الأخضر . وبما أنني افترضت أن كل طول الألوان لم يكن يحتوي على كل طول الطيف ، بل فقط على طول جوانبه الخطية ، فقد أكملت الأطراف نصف ـ الدائرية وأنشأت دوائر كاملة . وحالما

كان أي من هذه الألوان المدروسة يَسْقُط داخل هذه الدوائر ، كنت أقيس المسافة بين هذا اللون وطرف الطيف نصف ـ الدائري ، ثم أطرح نصف هذه المسافة من قياس المسافة بين اللونين ، وأعتبر أن الباقي هو مسافتهما المصحّحة . ولقد اتخذت ، في دراساتي، هذه المسافة المصحّحة كفرق المسافات بين البؤر والعدسة ، وذلك لأن طول جوانب الطيف الخطيّة يكون الطول الكلّي لجميع الألوان اذا تقلّصت الدوائر التي تؤلف الطيف، كما شرحنا سابقاً، وتحوَّلت إلى نقاط فيزيائية كذلك تصبح المسافة المصحّحة، في هذه الحال، المسافة الحقيقية للّونين المدروسين.

إذاً، وبينما كنت أكمل مقارنة اللون الأحمر الدقيق الأكثر قتماً مع اللون الأزرق، الذي كانت مسافته المصحّحة الى الأحمر 7/12 جزءاً من طول جوانب الطيف الخطّية، كان فرق مسافتي بؤرتيهما الى العدسة 3 بوصات و1/4 البوصة تقريباً: وكما هي نسبة 7 إلى 12، هكذا نسبة 31/4 الى 5 4/7.

وعندما راقبت اللون الأحمر الدقيق الأكثر قَتَماً واللون النيلي، اللذين كانت المسافة المصحّحة بينهما 8/12 أو 2/3 من طول جوانب الطيف الخطّية، كان فرق مسافتي بؤرتيهما الى العدسة 3 بوصات وثلثي البوصة تقريباً: وكما هي نسبة 2 الى 3 كذلك نسبة 3 2/3 الى 5 1/2.

وعندما راقبت اللونين الأحمر الدقيق الأكثر قتماً والنيلي القاتم، اللذين كانت المسافة المصحّحة بينهما 9/12 أو 3/4 من طول جوانب الطيف الخطية، كان فرق مسافتي بؤرتيهما الى العدسة 4 بوصات تقريباً: وكما هي نسبة 3 إلى 4 هكذا نسبة 4 إلى 5 وثلث.

وحين راقبت اللون الأحمر الدقيق الأكثر قتماً والجزء من اللون البنفسجي الذي يأتي مباشرة بعد اللون النيلي، كانت المسافة المصحّحة من هذا الجزء البنفسجي الى الأحمر 10/12 أو 5/6 من طول جوانب الطيف الخطّية، وكان فرق مسافتي بؤرتيهما الى العدسة 4 بوصات ونصف البوصة تقريباً: وكما هي نسبة 5 الى 6 كذلك نسبة 4 1/2 إلى 5 2/4. وذلك لأنه أحياناً، وحين كانت العدسة موضوعة بشكل جيد، ومحورها متجهاً نحو الأزرق وكان كل شيء مرتباً بشكل جيد، والشمس ساطعة، وكانت عيني قريبة جداً من الورقة التي تُسقط العدسةُ عليها صورَ الخطوط السوداء، كنت أستطيع أن أرى بوضوح كافٍ صورَ هذه الخطوط بواسطة هذا الجزء من اللون البنفسجي الذي يأتي بعد النيلي مباشرة. وكنت أستطيع أحياناً أن أميّز بينها بواسطة أكثر من نصف اللون البنفسجي بقليل، لأنني عندما أقمت هذه التجارب، لاحظت أن الألوان الموجودة في محور العدسة، أو قربه، هي وحدها التي تظهر العناصر بوضوح: بحيث انني كنت أستطيع رؤية عناصر اللونين، الأزرق والنيلي، بوضوح، عندما كانا موجودين في المحور، لكن الأحمر كان عندئذ يبدو أقل

وضوحاً بكثير من السابق. فارتأيت أن أقصِّر طيف الألوان ليصبح طرفاه أقرب من محور العدسة. فأصبح طوله بوصتين ونصف البوصة تقريباً، وعرضه خمس أو سدس البوصة تقريباً، واستعضت عن الخطوط السوداء، التي كان الطيف يقع عليها، بخط أسود واحد أعرض من الخطوط السابقة، وذلك لكي أميّز الصورة بسهولة أكبر. ثم قسمت هذا الخط الى أجزاء متساوية بواسطة خطوط صغيرة تعارضها فتسمح لي بقياس المسافات بين الألوان المدروسة. بعد كل ذلك، استطعت أن أرى، أحياناً، صورة هذا الخط وأقسامه، تقريباً حتى مركز طرف الطيف البنفسجي نصف ـ الدائري. وها هي ملاحظاتي الجديدة حول الموضوع.

عندما راقبت اللون الأحمر الدقيق الأكثر قتماً، وذلك الجزء من البنفسجي الذي كانت مسافته المصحّحة الى الأحمر 8/9 جزءاً من جوانب الطيف الخطية، كان فرق مسفات بُؤَر هذه الألوان الى العدسة، مرَّةً 4 بوصات و2/3، ومرَّةً أخرى 4 بوصات و3/4، ومرَّةً أخرى 4 بوصات و7/8 البوصة: وكمنا هي نسبة 8 إلى 9 هكذا كانت بالتعاقب نسبة 2/3 4 و 3/4 4 و7/8 4 إلى 1/4 5 و11/32 5 و31/64 5.

وعند مراقبتي للأحمر الدقيق الأكثر قتماً والبنفسجي الدقيق الأكثر قتماً (مسافة هذين اللونين المصّصحة كانت تقريباً 11/12 أو 15/16 جزءاً من طول جوانب الطيف الملوّن الخطية، وكانت الشمس ساطعة، وكان كل شيء على أحسن ما يرام)، وجدت أن فرق مسافتي بؤرتيهما إلى العدسة كان أحياناً 4 بوصات وثلاثة أرباع البوصة، و5 بوصات وربع البوصة أحياناً أخرى وعموماً 5 بوصات أو ما يقاربها: وكما هي نسبة 11 إلى 12 أو 15 إلى 16 كذلك هي نسبة 5 بوصات الى 5 بوصات ونصف البوصة أو إلى 5 بوصات وثلث البوصة.

إن هذه السلسلة من التجارب أقنعتني أنه لو كان الضوء كافي القوة حتى أطراف الطيف ، لكي يُظهر صورَ الخطوط السوداء واضحة على الورقة ، لكانت بؤرة اللون البنفسجي أقرب الى العدسة من بؤرة اللون الأحمر الأقتم ، على الأقل 5 بوصات وثلث البوصة تقريباً . وهذا برهان جديد على أن جيوب ورود وانكسار جميع أنواع الأشعة المختلفة تحفظ بينها النسبة ذاتها ، عند أصغر الانكسارات وعند أكبرها .

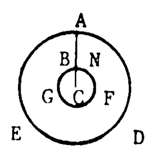
لقد عرضت هنا تفاصيل هذه التجربة الدقيقة والمضنية ، حتى يفهم من يريد محاولتها من بعدي ، الحذرَ الواجب اتباعه من أجل انجاحها . واذا حدث أن التجربة لم تنجح كما نجحت معي ، فيمكن على كل حال التوصل ، بواسطة نسبة مسافات ألوان الطيف الى بعضها ، الى فرق مسافات بؤرها الى العدسة . وهذا ما يحدث في تجربة أكثر دقة على ألوان أكثر بعداً بعضها عن البعض الآخر . وعلى كل حال ، اذا استُخْدِمَت عدسة أكبر من التي استَخْدَمْتُها ، وثُبِّتت الى قضيب طويل مستقيم ، بحيث تكون

متجهة بشكل أدقّ وأفضل نحو اللون الذي نريد الحصول على بؤرته ، فإنني لا أشك أبداً بنجاح التجربة أفضل ممّا نجحت معي . لأنني ، من جهتي ، قد اكتفيت بتوجيه المحور ، أقرب ما استطعت الى وسط الألوان ، فأضحت ، من جـرّاء ذلك ، أطراف الطيف الضعيفة بعيدة عن المحور ومرتسمة على الورقة بوضوح أقل ممّا كان سيحصل لو كان المحور متجهاً بالتعاقب نحو كل من هذه الألوان بالتخصيص .

ممّا ذكرنا حتى الآن ، يصبح من المؤكد أن الأشعـة المختلفة الانكسـارية لا تجتمع أبداً في البؤرة ذاتها، لكنها اذا انسابت من نقطة مضيئة ، تكون بعيدة عن العدسة من جهة معينة بقدر بعد بؤر الأشعة عنها من جهتها الأخرى ، فإن بؤرة الأشعة الأكثر انكسارية تصبح أقرب الى العدسة من بؤرة الأشعة الأقل انكسارية ، بأكثر من جزء من أربعة عشر من طول كل المسافة . واذا انسابت من نقطة مضيئة ، بعيدة عن العدسة ما يكفي لأن نعتبرها متوازية ، قبل ورودها ، فإن بؤرة الأشعة الأكثر انكسارية تصبح أقرب الى العدسة من بؤرة الأشعة الأقل انكسارية ، بجزء من سبعة وعشرين ، أو ثمانية وعشرين ، من كل المسافة الى العدسة تقريباً . أما الدائرة المـوجودة بين هاتين البؤرتين ، والتي تضيئها الأشعة الواقعة عندها على مستوٍ عمودي على المحور ، والتي هي أصغر دائرة تستطيع أن تتجمع فيها كل هذه الأشعة ، فإن قطرها يساوي تقريباً الجزء الخامس والخمسين من قطر فتحة زجاجة المقـراب : فيصبح من غيـر المعقول أن تمثّل المقرابات الأجسام بالوضوح التي هي عليه . لكن لو كانت كلّ أشعة الضوء متساوية الانكسارية ، فإن الخطأ الناتج فقط من كروية الزجاجات يصبح أقل بمئات المرات . لأنه اذا كانت جسمية المقراب محدبة ـ مستوية ، وجهتها المستوية مدارة نحو الجسم ، واذا مثلنا قطر الدائرة التي تشكل الزجاجة جزءاً منها ، بالحرف D ، ونصف قطر فتحة الزجاجة بالحرف S ، واذا كانت نسبة جيب الورود ، عند المرور من الزجاج الى الهواء ، الى جيب الانكسار كنسبة I الى R : فإن الأشعة الآتية موازية لمحور الزجاجة ستنتشر في المكان الذي ترتسم فيه صورة الجسم بأكبر وضوح على دائرة صغيرة قطرها $\frac{Rq\times Sc}{Iq\times Dq}$ (q = مربع ، و c = مكعب) تقريباً ، كمـا أدخلته في حساب أخطاء الأشعة بواسطة السلاسل غير المتناهية ، مهملاً الحدود التي لا اعتبار لكمياتها . مثال على ذلك ، اذا كانت نسبة جيب الورود I الى جيب الانكسار R كنسبة 20 الى 31 ، وكان D قطر الدائرة التي صُنِعت منها جهة الزجاجة المحدبة يساوي 100 قدم أو 1200 بوصة ، وكـان S نصف قطر الفتحـة يساوي بـوصتين : فإن قـطر الدائرة الصغيرة (أي Rq×Sc) يصبح 8×31×31 (أو 961) جزءاً من البوصة . لكن قطر هذه الدائرة ، التي تنتشر عليها الأشعة بسبب عدم تساوي الانكسارية ، يصبح تقريباً الجزء الخامس والخمسين من فتحة زجاجة المقراب والتي تساوي هنا 4 بوصات . لذلك فإن نسبة الخطأ الناتج عن كروية الزجاجة الى الخطأ الناتج عن اختلاف انكسارية

الأشعة هي كنسبة 961/72000000 إلى 4/55، أي كنسبة 1 إلى 5449. وبالتـالي فإن الخطأ الأول ليس جديراً بالإهتمام لكونه ضحلاً بالمقارنة مع الخطأ الثاني.

أما اذا كانت الأخطاء التي يسبّبها اختلاف انكسارية الأشعة كبيرة جداً ، فانكم تتساءلون كيف يمكن للأجسام أن تظهر بوضوح كبير من خلال المقرابات ؟ ان ذلك يحدث لأن الأشعة التائهة ، عوضَ أن تنتشر بانتظام على كل هذا المكان الدائري ، فإنها تتجمع في مركز الدائرة بطريقة أكثر كثافة بكثير مما تفعله في أي جزء آخر منها ، وبما أنّها تصبح أكثر فأكثر ندرة باتجاه محيط الدائرة ، حتى تصبح نادرة بشكل غير متناه عند هذا المحيط ، لذلك تصبح هذه الأشعة أضعف من أن تُرى ، إلاّ في المركز أو قريباً جداً منه .



شكل 27

لنعتبر ADE احدى هذه الدوائر مرسومة من المركز C بفاصل (شعاع) AC : ولتكن BFG دائرة أصغر متمركزة concentric مع الدائرة الأولى ويقطع محيطها نصف القطر AC في النقطة B. ولنقسم أيضاً AC إلى جزءين متساويين في N، فتصبح، تبعاً لحساباتي، نسبة كثافة الضوء في أيّ مكان B إلى الكثافة في N، كنسبة AB إلى BC، ونسبة كلّ الضوء، داخل الدائرة الأصغر BFG، إلى كل الضوء داخل الدائرة الأكبر، كنسبة زيادة مربّع AC عن مربع AB الى مربع AC. مثلاً، إذا كان BC الجزء الخامس من AC، فسيكون الضوء أكثف أربع مرات في B عمّا هو في N، وتكون نسبة كل الضوء داخل الدائرة الأصغر الى كل الضوء داخل الدائرة الأكبر كنسبة 9 إلى 25. من هنا يصبح من البدهي أن يؤثر الضوء الموجود داخل الدائرة الأصغر على النظر أكثر بكثير من الضوء الخافت المتمدد، والمحصور بين محيط الدائرة الصغرى ومحيط الدائرة الكبرى.

تجدر الملاحظة أيضاً أن أكثر الألوان المنشورية اضاءة هما الأصفر والبرتقالي : أقول بأن هذين اللونين يؤثران على الحواس أكثر ممّا تفعل جميع الألوان الأخرى مجتمعة . يندرج بعدهما مباشرة ، على صعيد القوة ، اللونان الأحمر والأخضر . وبالمقارنة، فإن الأزرق لون ضعيف ومعتم ، أما النيلي والبنفسجي فهما أكثر ضعفاً وعتمة ، بحيث لا يستحقان أن نعيرهما أي انتباه عند مقارنتهما بالألوان الأقوى . لذلك يجب أن تكون صور الأجسام ، لا في بؤرة الأشعة المتوسطة الانكسارية

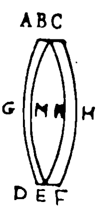
والموجودة في تخـوم الأخضر والأزرق ، بـل في بؤرة الأشعـة الموجـودة في وسط اللونين ، البـرتقالي والأصفـر ، في المكان الذي يكـون فيه الضـوء الأكثر اضـاءة وسطوعاً ، أي في الأصفـر الأكثر حـدّة والأقرب الى البـرتقالي منـه الى الأخضر . فبواسطة انكسار هذه الأشعة (التي تكون نسبة جيب ورودها الى جيب انكسارها في الزجاج كنسبة 17 الى 11) يجب قياس الانكسار في الزجاج وفي البلّورة اللازمتين للاستخدامات البصرية . لنضع اذن صورة الجسم في بؤرة هذه الأشعة ، فيسقط كل الأصفر والبرتقالي في دائرة يساوي قطرها جزءاً من مئتين وخمسين من قطر فتحة الزجاجة تقريباً . واذا أضفنا النصف الأكثر لمعاناً من اللون الأحمر (أي الذي يأتي بعد البرتقالي مباشرة) ، والنصف الأكثر لمعاناً من اللون الأخضر (أي الذي يأتي مباشرة بعد الأصفر) فإن ثلاثة أخماس ضوء هذين اللونين تقريباً ستقع في الدائرة المذكورة ، أما الخمسان الباقيان فسيقعان خارج هذه الدائرة وحولها : فـالذي يقع خارجاً سينتشر في مكان بقدر ضعف المكان الداخلي فيصبح بالتالي أندر ثلاث مرّات تقريباً . أما النصف الآخر من الأحمر والأخضر (أي من الأحمر القاتم المعتم ومن الأخضر بلون الصفصاف) فإن ربعه تقريباً يسقط داخـل الدائـرة، بينما تسقط الثـلاثة أرباع الباقية خارجها ، وما يقع خارجاً ينتشر في مكان أكبر أربع أو خمس مرات تقريباً من الداخل ، ويصبح بالتالي أندر . واذا قارناه بكل الضوء الموجـود داخل الدائـرة لأصبح أندر منه خمساً وعشرين مرّة تقريباً ، أو بالأحرى 30 أو 40 مرة ؛ وذلك لأن الأحمر القاتم ، الموجود في طرف الطيف الملوّن والناشىء عن المنشور ، رقيق جداً ونادر جداً ، ولأن أخضر الصفصاف أندر قليلاً من البرتقالي والأصفر . وبما أن ضوء هذه الألوان أندر بكثير من الضوء الموجود داخل الدائرة ، فإنه يكـاد لا يؤثـر على الحواس ، وبخاصة لأن لوني هذا الضوء ، الأحمر القاتم وأخضر الصفصاف ، هما أعتم من الألوان المذكورة وأقل كثافة : فالضوء الكثيف والصارخ ، الموجود داخـل الدائرة ، يعتم ضوء هذه الألوان المعتمة والضعيفة والنادرة ، الموجودة حول الدائرة ، ويجعله غير محسوس تقريباً . لذلك فإن الصورة المحسوسة لنقطة مضيئة هي بالكاد أكبر من دائرة قطرها جزء من مئتين وخمسين من قطر فتحة زجاجة جسميّة مقـراب جيد ، أو هي أكبر بقليل جداً ، اذا استثنينا ضوءاً شـهبيـاً ضعيفاً ومعتمـاً موجـوداً حولها ، والذي لا يعيره المشاهد أي انتباه . لذا فإن هذه الصورة لا تزيد ، في مقراب فتحته أربع بوصات وطوله مئة قدم، عن ″2 و″45 أو″3 أبداً. وتستطيع هذه الصورة، في مقراب فتحته بوصتان وطوله 20 أو 30 قدماً أن تحتل ″5 أو ″6 وبالكاد أكثر: وهذا ما يتوافق تماماً مع التجربة ، لأن بعض علماء الفلك قد وجدوا أن قطر نجوم ثابتة ، في مقرابات طولها من 20 الى 60 قدماً، كان″5 أو ″6 تقريباً، أو على الأكثر ″8 أو ″10. ولكن اذا سوّدنا قليلاً زجاجة الجسميّة ، بواسطة دخان مشعل أو قنديل ، لكي نعتم ضوء

النجمة ، فإن الضوء الضعيف الذي كان يظهر في محيط النجمة لا يبقى ظاهراً . واذا كان الدخان على الزجاجة كافياً ، فإن النجمة تكاد لا تظهر الاّ كنقطة رياضية . وللسبب عينه فإن هذا الجزء غير المنتظم من الضوء ، والذي يظهر في محيط كل نقطة مضيئة ، تضعف رؤيته في المقرابات القصيرة أكثر من المقرابـات الطويلة ، لأن المقرابـات الأقصر ترسل ضوءاً أقل الى العين .

ان النجوم الثابتة تبدو كنقاط بسبب بعدها الهائل ، لولا أن ضوءها يتمدّد بفعل الانكسار : هذا ما نستطيع أن ندرجه لأنه حين يمرّ القمر أمام هذه النجوم ويَخسِفها فإن ضوءها لا يتلاشى تدريجاً بل دفعة واحدة ، بعكس الكواكب . ثم تعود فتظهر ، بعـد الخسوف ، دفعة واحدة ، أو في أقل من ثانية بالتأكيد ، علماً بأن جوّ القمر يمدّد قليلاً الوقت الذي يتلاشى فيه ضوء النجمة أولاً ثم حين يعود للظهور ثانية .

لكن إذا افترضنا الصورة الحسّاسة لنقطة مضيئة أصغر 250 مـرة من فتحة الزجاجة، فإنها ستبقى أكبر بكثير ممّا تكون عليه لو كان تكبيرها متأتياً فقط عن كروية الزجاجة . فلولا اختلاف انكسارية الأشعة ، لكان كبرها ، في مقراب طوله 100 قدم وفتحته 4 بوصات،لا يتعدى961/72000000جزءاً من البوصة، كما يظهره الحساب المقام أعلاه . وبالتالي تكون ، في هذه الحالة ، نسبـة أكبر الأخـطاء التي تسبّبها كـرويّة الزجاجة ، الى أكبر الأخطاء وأكثرها حسـاسية ، والتي يسبّبهـا اختلاف انكسـارية **الأشعة، كنسبة 961/72000000 إلى 4/250 على الأكثر، أي كنسبة 1 إلى 1200، ممّا يظهـر بوضـوح أن ما يمنـع المقرابـات من أن تكون تـامة هـو اختلاف انكسـارية الأشعة، لا كروية زجاجاتها.**

وهنالك تعليل آخر نستطيع أن نُظهر بواسطته أن اختلاف انكسارية الأشعة هي السبب الحقيقي في عدم كمال المقرابات . ذلك أن أخطاء الأشعة الناتجة من كرويّة زجاجات الجسميّات ، هي كمكعبات فُتَح زجاجات الجسميّات ؛ فلكي تكبّر المقرابات المختلفة الطول بوضوح وبدرجة الوضوح ذاتها ، يجب أن تكون فُتَح الجسميّات وقوة تضخيمها مثل مكعبات جذور أطوالها التربيعية ، وهذا لا يتطابق أبداً مع التجربة . أما الأخطاء الناتجة من اختلاف انكسارية الأشعة ، فهي بنسبة فتـح الجسميات : ممّـا يتطلّب من المقرابات المختلفة الطول ، لكي تكبّر بوضوح وبدرجة الوضوح ذاتها ، ان تكون فتحها وقوة تضخيمها مثل جذور أطوالها التربيعية ، وهذا يتطابق مع التجربة كما نعرف . فإن مقراباً طوله 64 قدماً وفتحته بوصتان وثلثا البوصة ، يكبّر 120 مرة أو ما يقارب ذلك ، بذات الوضوح الذي يكبّر به مقراب ، طوله قدم واحد وفتحته ثلث بوصة ، 15 مرّة .



شكل 28

لكننا نستطيع ، لولا اختلاف انكسارية الأشعة ، أن نجعل المقرابات أكثر كمالاً من التي ذكرناها حتى الآن ، وذلك بواسطة جسميّات مركّبة من زجاجتين يملأ الماء الفراغ بينهما وهكذا فلنعتبر ADFC زجاجة جسميّة مركّبة من زجاجتين ABED وCBEF ، متساويتي التحديب من جهتيهما الخارجيتين AGD و CHF ، ومتساويتي التقعير من جهتيهما الداخليتين BME و BNE ، ولنعتبر التقعير BMENB مملوءاً بالماء . ولنعتبر نسبة جيبي الورود والانكسار ، من الزجاج الى الهواء ، كنسبة I الى R ، ومن الماء الى الهواء كنسبة K الى R ، وبالتالي من الزجاج الى الماء كنسبة I الى K . ولنعتبر D قطر الدائرة التي صُنعت عليها الجهتان المحدبتان AGD وCHF ، ولنعتبر نسبة قطر الدائرة التي صُنعت عليها الجهتان المقعرتان BME و BNE الى D كنسبة الجذر المكعب من KK-KI الى الجذر المكعب من RK-RI . بعد هذه الافتراضات فإن الانكسارات التي تحدث على الجهتين المقعرتين للزجاجتين ، تصحّح بدقة كبيرة أخطاء الانكسارات التي تحدث على الجهتين المحدبتين ، باعتبار هذه الأخطاء ناجمة من كرويّة الشكل . ولولا اختلاف انكسارية الأنواع المتعددة من الأشعة ، لكانت هذه الوسيلة جيدة لجعل المقرابات كاملة بشكل مرض . ولكن بسبب هذا الاختلاف في الانكسارية ، لا أرى أبداً انه باستطاعتنا ، اعتماداً على الانكسارات وحدها ، أن نحسّن المقرابات أكثر ممّا فعلنا ، الاّ بزيادة طولها ، ممّا يظهر أن اختراع السيد هيغنز جيد جداً ، لأن القساطل الطويلة جداً مزعجة بسبب طولها ، فهي تتعرّض للانحناء وبالتالي للاهتزاز بحيث تبدو الأجسام مهتزّة بشكل دائم ، ممّا يمنع رؤيتها بوضوح . أما بواسطة الخدعة التي تخيّلها هيغنز ، فيمكن تحريك الزجاجات بسهولة ، وتصبح الجسميّة أثبت لكونها رُبطت الى عمود قاس ومستقيم .

بعد أن يئست من تحسين المقرابات ، ذات الطول المحدّد ، بواسطة الانكسارات ، تذكرت أنني قد تخيّلت في الماضي مقراباً يُظهر الأجسام بواسطة الانعكاس ، كنت قد استبدلت فيه زجاجة الجسميّة بمعدن مقعّر . كان قطر الدائرة التي صنعتُ عليها هذا المعدنَ المقعّر ، 25 بوصة انكليزية تقريباً ، وكان بالتالي طول هذا

الجهاز 6 بوصات وربع البوصة تقريباً . وكانت العينيّة مستوية ـ محدّبة ، وقطر الدائرة التي صنعت عليها الجهة المحدّبة خمس البوصة تقريباً ، أو أقل بقليل . فقد كان بالتالي يكبّر الأجسام من 30 الى 40 مرة . ووجدت ، بطريقة قياس أخرى ، أنه يكبّر 35 مرة تقريباً . كان المعدن المقعر يحمل فتحة بكبر بوصة وثلث البوصة : لم تكن هذه الفتحة محدودة بدائرة كمدة opaque. تغطي طرفه من كل الجهات، بل بدائرة معتمة موضوعة بين العينيّة والعين، وفي وسطها ثقب دائري صغير تصل الأشعة منه الى العين، لأن هذه الدائرة الموضوعة بهذا الشكل تصدّ كمية كبيرة من الضوء الهائم الذي كان بامكانه تعكير الرؤية. ولدى مقارنة هذا الجهاز بمنظار جيد، طوله 4 أقدام وعينيّته زجاجة مقعّرة، استطعت أن أقرأ بواسطة جهازي هذا على مسافة أكبر ممّا يسمح لي به المنظار المذكور. لكن الأجسام كانت تبدو أكثر عتمة في جهازي منها في المنظار الزجاجي: يعود ذلك من جهة إلى ضياع الضوء بانعكاسه على المعدن أكثر ممّا يحدث عند انكساره في الزجاج؛ ومن جهة أخرى لأن جهازي كان يكبّر أكثر ممّا ينبغي. لأنه لو لم يكن يكبر إلّا 30 أو 25 مرة، لأظهر الجسم أزهى وأمتع. لقد صنعت جهازين من هذا النوع منذ ستة عشر عاماً تقريباً ، وما يزال عندي واحد منهما استطعت بواسطته أن أبرهن صحة ما طرحته هنا . لكنه لم يعد بالجودة التي كان عليها سابقاً : لأن الجزء المقعر قد بهت عدة مرات وتمّ تلميعه من جديد بمسحه بواسطة جلد ناعم جداً . عندما صنعت الجهازين الأخيرين اللذين تحدثت عنهما ، شرع حِرَفِيّ من لندن بتقليد هذا النموذج ، لكنه استخدم طريقة صقل مختلفة عن التي استخدمتها ، فجاء نتاجه أقلّ جودة بكثير ، كما علمت من العامل الذي استخدمه لهذا الغرض . واليكم طريقتي التي استخدمتها في الصقل : أخذت لوحتين دائريتين من النحاس ، قطر كل واحدة منها ست بوصات ، الأولى محدبة ، والأخرى مقعرة، مصنوعتين بحيث تستجيب الواحدة بدقة تامة للأخرى . واشتغلت ، على اللوحة المحدبة ، الجسمية المعدنية المقعرة حتى أخذت شكلَ اللوحة المحدبة وأصبحت جاهزة للصقل . ثم طليت اللوحة المحدبة بقشرة رقيقة جدا من القطران ، وذلك بإسقاط القطران الذائب على هذه اللوحة التي كنت أسخّنها لكي يبقى القطران ليّناً عندما أضغط هذه اللوحة المحدّبة على اللوحة المقعرة والتي لم أنس أن أبلّلها حتى ينتشر القطران بالتساوي على كل مساحة اللوحة المحدبة . وبهذا العمل المتقن ، جعلت القطران رقيقاً بقدر قطعة من خمسة قروش . وبعد أن بردت اللوحة المحدبة ، عدت للعمل عليها حتى تصبح على أكبر قدر ممكن من الدقة . ثم أخذت من السباكة ، النظيفة والخالية من الأجزاء الكبيرة بعد غسلها ، وقذفت القليل منها على القطران وطحنته بواسطة اللوحة المقعرة حتى توقف عن الفرقعة : حينئذ بدأتُ صنعَ الجسميّة المعدنية بجدّ على القطران ، خلال دقيقتين

أو ثلاث ، ضاغطاً عليها بقوة . ثم وضعت سباكة جديدة على القطران وطحنتها مجدّداً حتى توقفت عن الفرقعة، ثم اشتغلت الجسمية المعدنية عليه كما فعلت سابقاً: وعاودت كل هذا العمل حتى أصبح المعدن مصقولاً كلياً . وفي آخر مرة اشتغلت بكل قوّتي خلال ردح طويل من الزمن ، نافخاً على القطران لكي أحفظه رطباً من غير زيادة سباكة جديدة . فأعطيت للجسمية المعدنية عرض بوصتين وسمك ثلث بوصة تقريباً حتى أمنعها من الاختلال . كان عندي اثنتان من هذه الجسميّات المعدنية ، ولقد تفحّصت ، بعد أن صقلتهما ، أيهما الأفضل ، وحاولت أن أشتغل على الثانية منهما لأرى اذا كان بامكاني أن أجعلها أفضل من التي احتفظت بها . وهكذا ، وبعد عدة تجارب ، تعلّمت طريقة الصقل حتى توصّلت الى صنع مقرابَي الانعكاس اللذين ذكرتهما. ان فنّ الصقل هذا يُكتسب بترداد التجربة أفضل بكثير من جميع الشروح التي يمكنني اعطاؤها . وقبل أن أصنع الجسميّة المعدنية على القطران ، كنت أعمل دوماً على القطران ضاغطاً السباكة مع لوحة النحاس المقعرة حتى تتوقف عن الفرقعة . لأنه ان لم تُحضّر الأجزاء الصغيرة من السباكة ، بهذه الطريقة ، لكي تتعلق بقوة بالقطران ، فإنها ستصل من جميع الجهات الى الجسميّة المعدنية فتثلمها وتمشطها وتقيم عليها عدداً غير متناه من التجويفات .

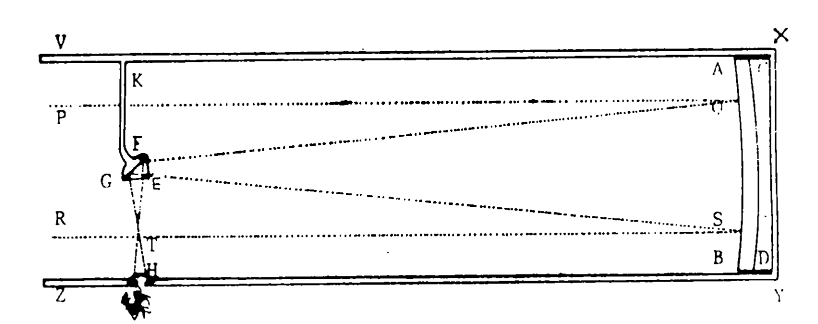
لكن صقل المعدن أصعب من صقل الزجاج ، ويتعرّض المعدن المصقول للفساد بسهولة بسبب التغشية ، ولا يعكس ، على كل حال ، من الضوء القدر الذي يعكسه الزجاج المطلي باللون الفضي الزاهي . لذلك فضلت استبدال المعدن بزجاج مقعر من الأمام ومحدب بالقدر ذاته من الخلف ، فطليت جهته المحدبة كلياً باللون الفضي الزاهي . يجب أن يكون لأي مكان من الزجاج السمك ذاته وبدقة كبيرة ، وإلّا أَظْهر الأجسامَ ملوّنةً وغامضة . ولقد حاولت ، منذ خمس أو ست سنوات ، أن أصنع ، بواسطة زجاج كهذا، مقراباً انعكاسياً ، طوله 4 أقدام ، استطاع التكبير 150 مرة تقريباً . ولقد أصبحت مقتنعاً بأنه يلزم فقط عامل ماهر حتى يصل بالأمور الى كمال كلّي . إن الزجاج الذي كان عليّ أن استعمله قد حضّره حرفي لندني بالطريقة التي يحضّرون فيها الزجاج من أجل صنع المقرابات . ومع أنه كان يبدو جيّد الصنع وبالمستوى المطلوب للجسميات ، لكن انعكاس الضوء عليه ، بعد طلائه بالفضي الزاهي ، أظهر وجود عدد غير متناه من اللامساواة في سطحه ، ممّا جعل الأجسام تبدو غامضة بواسطة هذا الجهاز . لأن أخطاء الأشعة المنعكسة ، والناجمة عن أي لا مساواة على سطح الزجاج ، هي أكثر عدداً ، بست مرّات تقريباً ، من أخطاء الأشعة المكسورة والناجمة عن لا مساواة كهذه . مع ذلك ، لقد اقتنعت بواسطة هذه التجربة ، أن ليس للانعكاس الناجم عن جهة الزجاج المقعرة ، والذي كنت أخاف تعكيرَه للرؤية ، أيُّ ضرر محسوس . وهكذا ، لا يحتاج صنع المقرابات الجيدة الّا لعمّال جيّدين يعرفون

صقل الزجاج واعطاءه شكلاً كروياً صحيحاً عند شغله. ولقد حسّنت مرّة ، وبشكل هائل ، زجاجة جسمية مقراب طوله 14 قدماً ، كان قد صنعها حرفي من لندن ، وذلك بشغلها على قطران ممزوج بالسباكة ، ولم أضغط الاّ القليل عليها ، لخوفي أن تثلمها السباكة . لكنني لم أتثبت حتى الآن من كون هذه الطريقة كافية لصقل زجاجات الانعكاس التي تحدثت عنها . لكنه ، على أي شخص يحاول هذه الطريقة في الصقل أو أية طريقة أخرى يفضّلها ، أن يعمل على زجاجاته بعنف أقل ممّا اعتاده حرفيّونا في لندن ، لأن الزجاجات المضغوطة بطريقة عنيفة تتعرّض للانحناء قليلاً ، ممّا يفسد شكلها بكل تأكيد . لذلك سوف أشرح في الاقتراح اللاحق الجهاز الذي ذكرته ، وذلك لمساعدة العمّال الذين يودّون البراعة في تشكيل الزجاجات البصرية ومحاولة ما يمكن فعله مع زجاجات الانعكاس .

القضية الثامنة

مسألة II

وسيلة لتقصير المقرابات



شكل 29

لنعتبر ABCD زجاجة كروية التقعير من جهتها الأمامية AB ، وبالقدر عينه من التحديب من جهتها الخلفية CD ، بحيث يكون لها السمك ذاته في كل مكان . فاحذروا ألّا تكون سميكة من جهة أكثر من الأخرى ، حتى لا تُظهر الأجسام ملوّنة وغامضة . وليكن صنعها دقيقاً ، ومطلية بالفضي الزاهي من الخلف ومُنْزَلَة في القسطل VXYZ الذي يُفترض أن يكون شديد السواد من الداخل . ولنعتبر EFG منشوراً من الزجاج أو البلّور ، يوضع قرب الطرف الآخر من القسطل على مسافة متساوية من جانبيه ، بواسطة يد نحاسية أو حديدية FGK ، يغطي طرفُها المستوي FG احدى جهات المنشور الموثقة اليه بواسطة الجصّ . وليكن المنشور قائماً في E ، ولتكن زاويتاه الأخريان في F و G متساويتين تماماً ، وبالتالي نصف قائمتين . ولنعتبر الجهتين المستويتين FE و GE مربّعتين ، فتكون الجهة الثالثة FG بالتالي متوازي ضلوع مستطيل نفترض طولَه الى عرضه بنسبة اثنين الى واحد . ولنفترض أن هذا المنشور قد وُضع بهذا الشكل في القسطل ، بحيث يستطيع محور المرآة ، أو الزجاجة المقعرة ABDC ، ان يمرّ عمودياً

في وسط الجهة المربعة EF ، وبالتالي في وسط الجهة FG ، بزاوية 45 درجة . لنعتبر الجهة EF مدارة باتجاه المرآة ، وليكن المنشور على مسافة من المرآة بحيث تستطيع أشعة الضوء PQ ، RS ... الخ ، الواقعة على هذه المرآة تبعاً لخطوط موازية لمحورها ، أن تدخل الى المنشور من الجهة EF وتنعكس على الجهة FG ، ثم تخرج من الجهة GE ذاهبة الى النقطة T ، المفترض فيها أن تكون البؤرة المشتركة للمرآة ABDC ولزجاجة عينيّة مستوية ـ محدبة H ، تصل الأشعة من خلالهـا الى العين . ولندع ، أخيـراً ، الأشعة الخارجة من هذه الزجاجة تمرّ في ثقب دائري صغير أُقيم في لوحة صغيرة من الرصاص أو النحاس أو الفضة تغطي الزجاجة ، ولا يكون هذا الثقب أكبر ممّا ينبغي لتمرير كمية كافية من الضوء . وهذا بالذات يجعل الجسم واضحاً ، لأن اللوحة ، التي أقمنا الثقب فيها ، تصدّ كل القسم التائه من الضوء والآتي من أطراف المرآة AB . ان جهازاً جيد الصنع كهذا ، بطول ستة أقدام (نعتبر الطول من المرآة حتى المنشور ، ومن المنشور حتى البؤرة T) ، وتساوي فتحته في مكان وجود المرآة ست بوصات ، يكبّر الأجسام مئتي مرة أو ثلاثمئة مرة تقريباً . لكنه من الأفضل هنا أن ننهي الفتحة بواسطة الثقب الصغير الموضوع في H ، على أن ننهيها بواسطة لوحة موضوعة على المرآة AB ومفتوحة من Q الى S . إنْ صنعنا الجهاز أطول أو أقصر ، يجب ان تكون الفتحة بنسبة مكعَّب الجذر التربيعي لطول الجهاز ، أمّا قدرة تضخيمه فتكون بنسبة الفتحة . لكن يجب أن تكون المرآة ، على الأقل ، أكبر بوصة أو بوصتين من الفتحة ، وأن يكون زجاج المرآة كافي السمك حتى لا ينحني أبداً عند صنعه . ويجب ألاّ يكون المنشور EFG أضخم ممّا يلزم ، أما جهته الخلفية FG فيجب ألاّ تُطلى بالفضي الزاهي لأنها تعكس كل الضوء الساقط عليها من المرآة ، من دون هذا الطلاء .

سوف تبدو الأجسام معكوسة في هذا الجهاز ، لكننا نستطيع تقويمها اذا صنعنا جهتي المنشـور المربعتين EF و EG كـرويتي التحديب ، لا مسـتـويتين ، وذلك لكي تستطيع الأشعة أن تتقاطع قبل وصولهـا الى المنشور كمـا تتقاطع بعـده ، أي بين المنشور والعينيّة(*) . إذا أردنا أن يكون للجهاز فتحة أكبر ، يمكننا أن نركّب المرآة من زجاجتين نملأ ما بينهما بالماء .

وأخيراً ، لنفرض أن النظرية المتعلقة بالمقرابات قد وُضعت تماماً حيّز التنفيذ ، فلن يتعدّى كمال هذه المقرابات حدوداً معينة . لأن الهواء الذي ننظر من خلاله الى النجوم ، يهتزّ بشكل دائم ، وهذا ما نراه بملاحظة اهتزاز ظلال الأبراج العالية وتلألؤ النجوم الثابتة . لا تومض هذه النجوم أبداً عندما نراها من خلال المقرابات ذات الفتح

(*) تصبح الصورة ، في هذه الحالة ، ملونة قليلاً ، لأن لجهات المنشور المحدبة أثر عينيّة ثانية ، ويجب أيضاً أن يكون المنظار أطول لاعطاء صورة معكوسة أمام المنشور وصورة ثانية مقوّمة بين المنشور والعينية، حيث كانت الصورة المعكوسة سابقاً .

الكبيرة : لأن كل شعاع من أشعة الضوء التي تمرّ في أجزاء الفتحة المختلفة ، يهتز على حدة، وتكون اهتزازاتها مختلفة ، ومتعاكسة أحياناً . وبما أنها وقعت في الوقت ذاته على نقاط مختلفة من قعر العين، فإن اهتزازاتها تصبح سريعة ومشوشة لدرجة استحالة رؤيتها منفصلة . وتكوّن جميع هذه النقاط المضاءة نقطة مضيئة كبيرة مؤلفة من هذا العدد الكبير من النقاط المهتزّة ، الممتزجة بغموض وبشكل غير محسوس بفعل اهتزازات سريعة جداً وقصيرة جداً ، مما يظهر النجمة أكبر مما هي عليه فعلياً ، ومن غير أي اهتزاز اجمالي . ان المقرابات الطويلة تستطيع إظهار الأجسام أكبر وأكثر لمعاناً ممّا تفعل المقرابات القصيرة ، لكننا لا نعرف كيف نصنعها بحيث تبدّد هذا الغموض في الأشعة الذي تسبّبه اهتزازات الفضاء . ان الدواء الوحيد لهذه المشكلة هو جوّ نقي وهادىء ، كالذي يمكن أن نجده في قمة أعلى الجبال ، وفوق أكثف الغيوم .

رسالة في البصريات
عن الضوء وألوانه

الكتاب الأول
الجزء الثاني

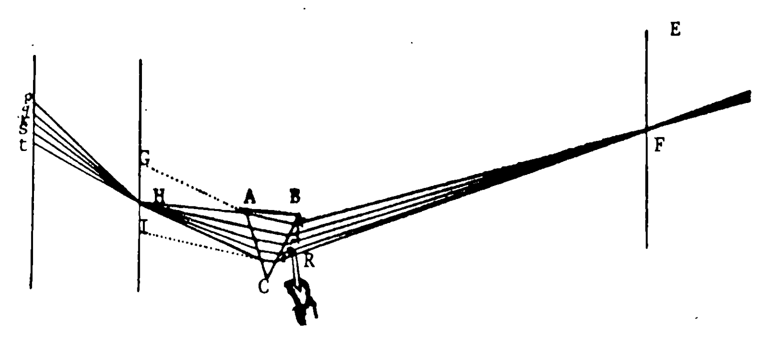
القضية الأولى

مبرهنة I

« لا تنتج ظواهر الألوان في الضوء المكسور أو المنعكس من تعديلات جديدة دخلت على الضوء بأشكال مختلفة ، تبعاً لاختلاف نهاية الضوء والظلّ » .

(برهان مبني على التجارب)

التجربة الأولى :

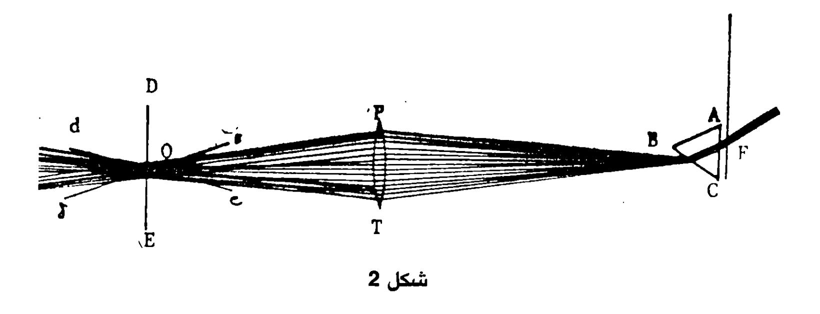


شكل 1

لنفرض أن حزمة من ضوء الشمس دخلت الى غرفة شديدة العتمة من ثقب متطاول F ، يساوي كبره سدس البوصة أو ثمنها أو أقل ، ثم مرّت هذه الحزمة FH ، أولاً عبر منشور كبير جداً ABC ، موجود على بعد 20 قدماً من الثقب وموازٍ له ، ثم مرّ الجزء الأبيض منها عبر ثقب متطاول H ، أُقيم في جسم أسود كمد GI ، كبره الجزء الأربعون أو الستون من البوصة تقريباً ، وموجود على مسافة قدمين أو ثلاثة من المنشور ومواز لهذا المنشور وللثقب الأول : اذا سقط هذا الضوء الأبيض ، المرسَل

بهذه الطريقة عبر الثقب H ، على ورقة بيضاء pt موضوعة خلف هذا الثقب H على بعد 3 أو 4 أقدام ، ورسم ألوان المنشور العادية ، الأحمر في t مثلاً والأصفر في s والأخضر في r والأزرق في q والبنفسجي في p ، فإننا نستطيع في هذه الحالة ، وبواسطة خيط من النحاس الأصفر أو أي جسم مماثل ، رقيق وكمد بطول عشر البوصة تقريباً ، أن نصدّ الأشعة في k أو l أو m أو n أو o ، وأن نزيل اللون الذي نريد من t أو s أو r أو q أو p ، بينما تبقى الألوان الأخرى على الورقة كما في السابق ، أو أن نزيل ، بواسطة حاجز أكبر بقليل ، لونين أو ثلاثة أو أربعة دفعة واحدة ، محتفظين بالباقي . وهكذا يستطيع كلّ من الألوان أن يصبح ، كالبنفسجي ، خارجياً في تخوم الظل قرب p ، وكالأحمر ، خارجياً في تخوم الظل قرب t : ويستطيع كل منها أيضاً أن يتاخم الظل المقام داخل الألوان بواسطة الحاجز R الذي يصدّ أي جزء متوسط من الضوء ، وأخيراً يستطيع أي من هذه الألوان ، اذا تُرك وحده ، أن يتاخم الظل من الجهتين . لذلك تتعرض جميع الألوان على السواء لمتاخمة الظلّ من دون أي تعديل . وبالتالي ، فإن الأسباب التي تجعل هذه الألوان مختلفة الواحدة عن الأخرى ، ليست أبداً تخوم الظل المختلفة ، حيث يختلف تعديل الضوء كما يعتقد الفلاسفة حتى الآن . يبقى علينا أن نلاحظ ، عند إقامة هذه التجارب ، أن التجربة تنجح أكثر ، بقدر ما يكون الثقبان F و H أصغر والمسافة بين هذين الثقبين والمنشور أكبر ، والغرفة أعتم شرط ألّا ينقص الضوء عن الدرجة التي تسمح برؤية الألوان في pt بشكل جيد . وبما أنه ليس من السهل الحصول على منشور زجاجي صلب يكون كبره كافياً لهذه التجربة ، فمن الأفضل صنع وعاء منشوري ، بواسطة لوحات زجاجية مصقولة ومجصّصة بعضها مع البعض الآخر ، ثم نملؤه بالماء المالح أو بالزيت الصافي .

التجربة الثانية :

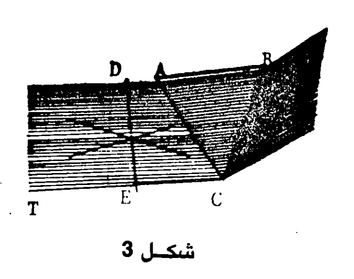


شكل 2

أدخلت حزمة من ضوء الشمس الى غرفة معتمة من ثقب دائري F ، قطره نصف بوصة . مرّت هذه الحزمة أولاً عبر منشور ABC موضوع أمام هذا الثقب ، ثم عبر عدسة PT يزيد كبرها عن أربع بوصات بقليل وعلى بعد ثمانية أقدام عن المنشور تقريباً . ومن

هنا تجمّع هذا الضوء فى O ، بؤرة العدسة ، على بعد ثلاثة أقدام من هذه العدسة تقريباً، حيث سقط على ورقة بيضاء DE، عندما كانت هذه الورقة عمودية على هذا الضوء الساقط عليها ، كما نمثّلها في الوضعية DE ، فقد كانت كل الألوان المرسومة على الورقة في O ، تبدو بيضاء . لكن حين أصبحت الورقة ، المدارة حول محور موازٍ للمنشور، شديدة الانحناء بالنسبة للضوء، كما نمثّلها في الوضعيتين de وδε، فإن الضوء ذاته كان يبدو أصفر وأحمر في احدى الحالتين، وأزرق في الحالة الأخرى. وهكذا نرى أن الجزء ذاته من الضوء، وفي المكان ذاته، يظهر تبعاً لانحناءات الورقة، أبيض في حالة، أصفر أو أحمر في حالة أخرى، وأزرق في حالة ثالثة، بينما بقيت تخوم الضوء والظل والانكسارات في المنشور، هي ذاتها تماماً، في جميع هذه الحالات.

التجربة الثالثة:



شكل 3

هذه تجربة مماثلة وأسهل تنفيذاً . لنعتبر أن حزمة واسعة من ضوء الشمس دخلت الى غرفة معتمة من ثقب أقيم في دفة النافذة ، وانكسرت في منشور كبير ABC له زاوية كاسرة C أكبر من 60 درجة . ثم سقطت ، بعد خروجها من المنشور مباشرة ، على كرتون أبيض كبير DE . عندما يكون هذا الكرتون عمودياً على الضوء ، كما هو ممثل في DE ، يبدو هذا الضوء أبيض تماماً على الكرتون . أما إذا أصبح الكرتون شديد الانحناء بالنسبة للضوء، في حين بقي موازياً لمحور المنشور، فيتحوّل كل بياض هذا الضوء الذي ظهر على الكرتون، تبعاً لانحناء الكرتون من جهة أو أخرى، إلى أصفر والى أحمر ، كما في الوضعية de ، أو الى أزرق والى بنفسجي ، كما في الوضعية δε . وإذا انكسر الضوء ، قبل سقوطه على الكرتون ، مرّتين من الجهة ذاتها ، بواسطة منشورين متوازيين ، فإن هذه الألوان تصبح أكثر زهواً . لقد أصبحت ، في هذه التجربة، جميع الأجزاء المتوسطة من حزمة الضوء الأبيض العريضة الواقعة على الكرتون ، ملوّنة كلياً بلون واحد من غير أن تسهم أية تخوم للظل في تعديلها ؛ وكان هذا اللون دائماً نفسه في وسط الكرتون كما في الأطراف . الاّ أنه

كان يتغيّر تبعاً لاختلاف انحناء الكرتون العاكس ، من دون أن يحدث أي تغيير في الانكسارات أو في الظل أو في الضوء الواقع على هذا الكرتون . لذا فإن سبب هذه الألوان هو شيء آخر غير تعديلات جديدة في الضوء ناتجة عن انكسارات وظلال .

واذا سأل سائل ، ما هو اذاً هذا السبب ؟ فإنني أجيب أن الكرتون ، في الوضعية de ، أكثر انحناء بالنسبة للأشعة الأكثر انكسارية ممّا هو بالنسبة للأشعة الأقل انكسارية ، لذا فإن هذه الأخيرة تضيئه أكثر من الأولى ، وتغلب بالتالي الأشعة الأقل انكسارية على الضوء المعكوس . وفي كل مرة تغلب هذه الأشعة على أي ضوء كان ، فإنها تصبغه بالأحمر أو بالأصفر ، كما يظهر ذلك بطريقة ما من الاقتراح الأول في الجزء الأول ، وكما سيظهر بالتخصيص لاحقاً . ويحدث العكس حين يكون الكرتون في الوضعية δε لأن الأشعة الأكثر انكسارية ، والتي تصبغ الضوء دائماً بالأزرق وبالبنفسجي ، تصبح آنذاك هي الغالبة .

التجربة الرابعة :

إن ألوان الفقاقيع التي نحدثها في الماء والصابون ، والتي تصلح للعب الأولاد ، هي مختلفة، وتتغيّر وضعيتها بطرق متعددة من دون أن يكون لها أية علاقة بمتاخمة الظل . اذا غطّينا احدى هذه الفقاقيع بزجاجة مقعرة حتى لا يحركها الهواء ، فإن وضعية ألوانها ستتغيّر ببطء وانتظام بينما تبقى ، في الوقت ذاته ، العين والفقاعة وكل الأجسام المحيطة التي تُسقط الضوء أو التي هي من الظل ثابتة . وبالتالي فإن لألوان هذه الفقاقيع سبباً منتظماً لا يتعلق أبداً بتخوم الظل . وسوف نُظهر في الكتاب اللاحق ماهية هذا السبب .

نستطيع أن نزيد ، على هذه التجربة ، التجربة العاشرة من الجزء الأول من هذا الكتاب . إن ضوء الشمس قد عبر ، في هذه التجربة الى غرفة مظلمة من خلال السطوح المتوازية لمنشورين جُمعا بشكل متوازي السطوح، فبدا عند خروجه من المنشورين بلون أصفر أو أحمر منتظم ومطلق . وفي هذه الحالة ، لا تستطيع تخوم الظل أن تسهم بشيء في انتاج هذه الألوان، لأن الضوء يتحوّل تعاقبياً من اللون الأبيض الى الأصفر الى البرتقالي والى الأحمر من غير أن تتلقى تخوم الظل أي تعديل . وفي طرفي الضوء الخارج ، حيث كان يجب على تخوم الضوء المواجِهة أن تُنتج آثاراً مختلفة ، كان اللون لوناً واحداً كلّي الانتظام ، أبيض أم أصفر ، أم برتقالياً أم أحمر . وفي وسط الضوء الخارج ، حيث لا تخوم للظل أبداً ، يكون اللون هو نفسه الموجود في الطرفين ، ممّا يجعل كلّ الضوء ، في نقطة الخروج ، بلون واحد منتظم ، الأبيض أم الأصفر أم البرتقالي أم الأحمر ، وهكذا بشكل متواصل من غير أن يطرأ عليه أي تغيير في اللون الذي يفترض عادة أن تنتجه تخوم الظل في الضوء المكسور بعد خروجه . ولا يمكن

أيضاً أن تأتي هذه الألوان من تعديلات جديدة أضفاها الانكسار على هذا الضوء ، لأنها تتحوّل بالتعـاقب من الأبيض الى الأصفر الى البـرتقالي والى الأحمـر ، بينما تبقى الانكسارات ذاتها في كـلّ هذا الوقت ، وأيضـاً لأن الانكسارات تحصـل باتجـاهات متعاكسة، بواسطة سطوح متوازية تقضي تبادلياً على أثر كلّ منها على حـدة. لا تأتي هذه الألوان اذاً من أية تعديلات في الضوء ناتجة من انكسارات أو ظلال ، ولكن من سبب آخر . لقد أظهرنا في التجربة العاشرة ماهية هذا السبب ، ولا ضرورة لترداده هنا .

هنالك أيضاً حالة مهمة في هذه التجربة . ان الضوء الخارج ينكسر بفعل منشور ثالث HIK (شكل 22 ، الجزء I) باتجاه الورقة PT ، ويرسم ألوان المنشور العادية ، الأحمر والأصفر والأخضر والأزرق والبنفسجي . فلو كانت هذه الألوان متأتية من بعض تعديلات الضوء الناجمة عن الانكسارات في هذا المنشور ، لما وُجدت في هذا الضوء قبل سقوطه على هـذا المنشور . لكننـا وجدنـا في هذه التجـربة ، أننـا حين نديـر المنشورين حول محورهما المشترك ، نجعل جميع الألوان تتلاشى ، باستثناء الأحمر : بدا هذا الضوء الأحمر ، حين أصبح وحيداً ، تماماً كاللون الأحمر قبـل وقوعـه على المنشور الثالث . ونرى عامة ، بواسطة تجارب أخرى ، انه حين ينفصل بعض الأشعة المختلفة الانكسارية عن بعضها الآخر ، وننظر الى أي نوع خاص منها على حدة ، فإن لونه لا يتغيّر بفعل أي انكسار أو انعكاس ، كما هو مفروض لو لم تكن الألوان سوى تعديلات في الضوء ناجمـة عن انكسارات وانعكـاسات وظلال . ومـا سأشـرحه في الاقتراح اللاحق ، هو ثبات اللون هذا .

القضية الثانية

مبرهنة II

« لكل ضوء متجانس لونه الخاص المتناسب مع درجة انكساريته . ولا يمكن تغيير هذا اللون ، لا بالانعكاس ولا بالانكسار » .

في التجارب التي رويتها في الاقتراح الرابع من الجزء الأول من هذا الكتاب ، وبعد أن فصلت بعض الأشعة غير المتجانسة عن بعضها الآخر ، ظهر الطيف pt الناشىء عن الأشعة المنفصلة، من طرفه p الذي وقعت عليه الأشعة الأكثر انكسارية حتى طرفه الآخر t الذي وقعت عليه الأشعة الأقل انكسارية ، مضاءً بالألوان التالية ، تبعاً للترتيب الذي سأطرحه : البنفسجي ، النيلي ، الأزرق ، الأخضر ، الأصفر ، البرتقالي ، الأحمر ، مع جميع درجاتها المتوسطة ، وذلك بتعاقب متواصل كان يتغيّر على الدوام بحيث كنا نرى من درجات الألوان بمقدار ما كان يوجد من أنواع الأشعة المختلفة الانكسارية .

التجربة الخامسة :

ولقد تحققت من أن هذه الألوان لا تستطيع أبداً أن تتغير بفعل الانكسار ، عندما كسرت ، بواسطة منشور ، جزءاً صغيراً جداً من الضوء تارة ، وجزءاً آخر صغيراً جداً تارة أخرى ، بالطريقة ذاتها التي ذكرتها في التجربة الثانية عشرة من الجزء الأول من هذا الكتاب. وذلك لأن لون الضوء لم يتغيّر على الاطلاق، بفعل الانكسار السابق. فإذا انكسر أي جزء من الضوء الأحمر فإنه يبقى بلونه تماماً كالسابق ، دون ان ينتج هذا الانكسار اللون البرتقالي أو الأصفر أو الأخضر أو الأزرق ، ولا أي لون جديد آخر . كذلك لم تنتج الانكسارات المتكررة أي تغيير في اللون : لقد كان الأحمر دوماً ذاته كما في المرّة الأولى . وقد كان الثبات ذاته في الأزرق والأصفر والألوان الأخرى . وحدث الأمر ذاته عندما كنت أنظر ، عبر منشور ، الى أي جسم مضاء بأي جزء كان من هذا

الضوء المتجانس ، كما ذكرنا في التجربة الرابعة عشرة من الجزء الأول من الكتاب . لم استطع ملاحظة أي لون جديد ناتج من الوسيلة هذه . اذا نظرنا ، من خلال منشور ، الى جميع الأجسام المضاءة بضوء غير متجانس ، فإنها تبدو غامضة (كما سبق وذكرنا) وملوّنة بألوان جديدة مختلفة . أما التي تضاء بضوء متجانس فإنها لا تبدو ، من خلال منشور ، أقل وضوحاً أو ملوّنة بلون مختلف ، بل كما كنا نراها بالنظر المباشر اليها : لم تتغير الوانها أبداً بفعل الانكسار في المنشور المتوسط . انني أتحدث هنا عن تغير محسوس في اللون : لأن الضوء الذي اعتبره هنا متجانساً ، ليس متجانساً بشكل مطلق وبدقة كلية ، لذا فإن عدم تجانسه ينتج تغيّراً طفيفاً في اللون . لكن عندما ضعف عدم التجانس هذا لدرجة استطعنا فيها أن ننقصه بتجارب الاقتراح الرابع ، المذكور أعلاه ، أصبح تغيّر اللون غير محسوس ، ممّا يجعله بالتالي ، وفي التجارب التي تكون الحواس فيها الحكَم ، غير جدير بأي اعتبار .

التجربة السادسة :

وكما أن هذه الألوان لا تستطيع أن تتغير أبداً بفعل الانكسارات ، كذلك فهي لا تتغير بفعل الانعكاسات . لأن أي جسم ، أبيض أو رمادي أو أحمر أو أصفر أو أخضر أو أزرق أو بنفسجي مثل الورقة أو الرماد أو معدن الرصاص الأحمر أو الزرنيخ أو النيلة أو الرماد الأزرق أو الذهب أو الفضة أو النحاس أو الأعشاب أو الازهار الزرقاء أو البنفسجية أو فقاقيع الماء المكونة بألوان مختلفة أو ريش الطاووس أو أشياء أخرى كهذه : اذا تعرّض كل هذا لضوء أحمر متجانس فإنه يبدو أحمر كلياً ، أو لضوء أزرق فيبدو أزرق كلياً ، أو لضوء أخضر فيبدو أخضر كلياً ، وهكذا مع جميع الألوان الأخرى . لقد كانت جميع هذه الأجسام ، عند تعرضها لضوء متجانس من أي لون كان ، تظهر بهذا اللون ذاته كلياً ، أما الفرق الوحيد بينها هو أن بعضها عَكَس هذا الضوء بشكل أقوى بينما عَكَسه بعضها الآخر بشكل أضعف . لكنني لم أجد أجساماً تستطيع ، عند عكسها ضوءاً متجانساً ، أن تغير لونه بشكل محسوس .

ينتج من كل ما ذكرنا أنه لو كان ضوء الشمس مؤلفاً من نوع واحد من الأشعة ، لما وجد في الكون الاّ لون واحد ، ولما استطعنا انتاج أي لون جديد بواسطة الانعكاس أو الانكسار . وبالتالي فإن تعدّد الألوان يتعلق بكون الضوء مركّباً من أشعة من أنواع مختلفة .

تعريف

الضوء المتجانس : إنني أدعو الأشعة التي تَظهر حمراء ، أو بالأحرى التي تُظهر الأجسام حمراء ، بالأشعة الحمراء أو المسبّبة للأحمر ، والتي تُظهر الأجسام صفراء أو

خضــراء أو زرقاء أو بنفسجيــة ، بــالأشعــة الصفــراء أو الخضــراء أو الزرقــاء أو البنفسجية ، وهكذا دواليك . إنني أرجو القارىء أن يتذكر أنني ، عندما أتحدث أحياناً عن لون الضوء والأشعة ، لا أدّعي كلاماً فلسفياً وصحيحاً ، بل وصفاً شاملاً ومتوافقاً مع المفاهيم المحتمل أن تتكوّن عند الناس الذين يرون التجارب التي اقترحتها في هذا المؤلّف . لأنه ليس للأشعة لون ، بالمعنى الصحيح ، وليس فيها الاّ قوة أو امكانية اثارة الاحساس بهذا اللون أو ذاك . وكما أن الصوت في الجرس أو في الوتر الموسيقي أو في أي جسم طنّان آخر ، ليس الاّ حركة اهتزاز تنتقل في الهواء من الجسم المصدر لها وتعطي في مركز الاحساسات شعوراً حركياً بشكل الصوت، كذلك ليست الألوان في الاجسام سوى قدرة هذه الأجسام على عكس هذا النوع من الأشعة أو ذاك بغزارة أكبر مما تفعل بأنواع أخرى ، وما هي في الأشعة الاّ قدرة ارسال هذه الحركة أو تلك حتى مركز الاحساس ، حيث ينشأ الاحساس بهذه الحركات على شكل ألوان .

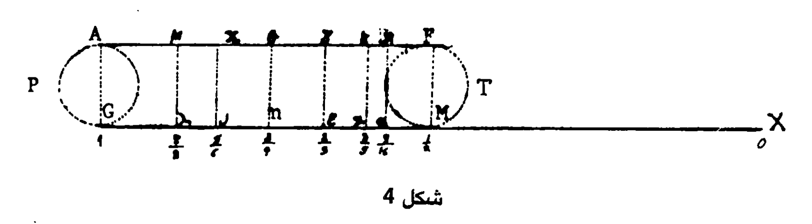
القضية الثالثة

مسألة ا

« تحديد انكسارية انـواع مختلفة من الضـوء المتجانس المتعلقـة باختـلاف الألوان » .

لقد تخيّلت، لحلّ هذه المسألة ، التجربة التالية :

التجربة السابعة :



شكل 4

بعد أن أنهيت بدقة جانبي الطيف الملون ، AF و GM ، والناشىء عن المنشور كما ورد ذكره في التجربة الخامسة من الجزء الأول ، وجدت جميع الألوان المتجانسة بذات الترتيب والوضعية ، الواحد بالنسبة الى الآخر ، اللذين كانت فيهما في الطيف المركّب من ضوء بسيط والذي ذكرته في الاقتراح الرابع من هذا الجزء الأول . لأن الدوائر التي تنشىء طيف الضوء المركب PT ، ويتقاطع بعضها ويتداخل مع البعض الآخر في أجزاء الطيف المتوسطة ، لا تمتـزج في أجزائهـا الخارجيـة حيث تلامس الجانبين الخطّيين AF و GM . لذلك لا ينشأ أبداً أي لون جديد ، بفعل الانكسار ، في هذين الجانبين الخطّيين عندما تكون نهايتهما واضحتين . ولاحظت أيضاً أنه اذا قطع خطّ مستقيم، مثـل $\gamma\delta$، الطيف في أي مكان بين الدائرتين الخارجيتين TMF و PGA ، بحيث يقع ، في طرفيه ، عمودياً على جانبي هذا الطيف الخطّيين ، فإن لونـاً واحداً

ووحيداً يظهر على كل هذا الخط من طرف الى آخر وبالدرجة ذاتها . ثم رسمت محيط الطيف FAPGMT على ورقة ، وأمسكت بها ، عند إقامة التجربة الثالثة من الجزء الأول من الكتاب ، بطريقة تسمح للطيف أن يسقط على هذا الشكل المرسوم وأن ينسجم معه تماماً ، بينما كان شخص آخر ، نظره ثاقب أكثر من نظري ، يميّز الألوان ساحبا الخطوط المستقيمة $\propto\beta$ و$\gamma\delta$ و $\zeta\varepsilon$... الخ، عرضياً بالنسبة الى الطيف، ومسجلاً تخوم الألوان، أي تخوم الأحمر $M\alpha\beta F$، والبرتقالي $\propto\gamma\delta\beta$، والأصفر $\gamma\varepsilon\zeta\delta$ والأخضر $\varepsilon\eta\theta\zeta$، والأزرق $\eta j x\theta$ والنيلي $j\lambda\mu x$ والبنفسجي $\lambda GA\mu$. وبعد اعادة هذه العملية عدة مرات على الورقة ذاتها، وعلى عدة أوراق أخرى، وجدت أن الملاحظات تتوافق بشكل جيد، وأن الخطين المستقيمين MG وFA كانا مقسومين بالخطوط المذكورة التي كانت تقطع الطيف عرضياً، وذلك بالطريقة ذاتها التي يُقْسَم بها وتر آلة موسيقية. لنعتبر MG ممتداً الى X بحيث يصبح MX مساوياً GM، ولنتخيَّل أن نسبة الواحد الى الآخر من GX وλX وjX وηX وεX وγX و$\propto$X وMX كنسبة الأعداد 1 و8/9 و5/6 و3/4 و2/3 و3/5 و9/16 و1/2، فتتمَثَّل هكذا أوتار مفتاح نغم الفاصلة الثلاثية الدنيا، والرباعية والخماسية والسداسية القصوى، والسباعية والثمانيّة فوق المفتاح، وتكون الفواصل $M\propto$، $\propto\gamma$، $\gamma\varepsilon$، $\varepsilon\eta$، $\eta\delta$ ، λG، أماكن وجود الألوان المختلفة، الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي.

وبما أن هذه الفواصل أو الأماكن تعبّر عن فوارق انكسارات الأشعة الواصلة حتى حدود هذه الألوان ، أي الى النقاط M ,$\propto$,γ,ε,η,j,λ, G ، فإننا نستطيع النظر اليها ، من دون أي خطأ محسوس ، على أنها متناسبة مع فوارق جيوب انكسار هذه الأشعة التي لها جيب ورود مشترك : إن جيب الورود المشترك ، للأشعة الأكثر انكسارية وللأشعة الأقل انكسارية عند مرورهما من الزجاج الى الهواء ، قد أصبح ، بالطريقة التي ذكرنا أعلاه ، متناسباً مع جيبي انكسارهما ، بنسبة 50 الى 77 و 78 . ولنقسم الفرق بين جيبي الانكسار 77 و 78 ، كما تقسم هذه الفواصل الخط GM ، فنحصل على جيوب انكسار هذه الأشعة المارّة من الزجاج الى الهواء كالتالي : 77 ، 77 1/8، 77 1/5، 77 1/3، 77 1/2، 77 2/3، 77 7/9، 77 و78، بينما جيب ورودها المشترك 50. وهكذا لم تكن جيوب ورود كل الأشعة المُصْدِرة للأحمر، عند مرورها من الزجاج إلى الهواء، بالنسبة الى جيوب انكسارها، لا أكبر من نسبة 50 إلى 77 ولا أقل من نسبة 50 الى 77 وثمن، هذا مع العلم بأن نِسَبها كانت تتغير تبعاً لجميع النسب المتوسطة. كذلك كانت جيوب ورود الأشعة المصدرة للون الأخضر الى جيوب انكساراتها، بجميع النسب الموجودة بين نسبة 50 الى 77 وثلث ونسبة 50 الى 77 ونصف. فبحدود مماثلة للتي ذكرناها حُدِّدَت انكسارات الأشعة التابعة للألوان الأخرى: تمتد جيوب الأشعة المصدرة للأحمر من 77 إلى 77 وثمن، وللبرتقالي من

77 وثمن الى 77 وخمس، ولـلأصفـر من 77 وخمس إلى 77 وثلث، ولـلأخضر من 77 وثلث الى 77 ونصف، ولـلأزرق من 77 ونصف الى 77 وثلثين، وللنيـلي من 77 وثلثين الى 77 وسبعة أتساع، وللبنفسجي من 77 وسبعة اتساع الى 78.

هذه هي قواعد الانكسار الذي تتعرّض له الأشعة عند مرورها من الزجاج الى الهواء ، فيصبح من السهل استنتاج قواعد انكسار الأشعة عند مرورها من الهواء الى الزجاج ، بواسطة الموضوعة الثالثة من الجزء الأول من هذا الكتاب .

التجربة الثامنة :

لنفرض أن الضوء يمر من الهواء الى أوساط كاسرة متلاصقة ومختلفة ، كأن يمر مثـلاً من الماء الى الـزجاج ومنـه الى الهواء، سـواء كانت السطـوح الكاسرة متـوازية أم مائلة ، الواحدة بالنسبة الى الاخر . لقد وجدت في هذه الحالة أنه في كل مرة كـان الضوء مقوّماً بفعل انكسارات متعاكسة ، بحيث كان يخرج وفق خطوط موازية للتي ورد فيها ، فإنه كان يبقى دائماً أبيض. أما اذا كانت الأشعة الخارجة مائلة بالنسبة الى الأشعة الواردة ، فإن بياض الضوء الخارج يصبح بالتدريج ملوّناً في أطرافه ، بقدر ما يبتعد عن مكان خروجه . وهذا ما برهنته بكسر الضوء بواسطة مناشير زجاجية أدخلتها في وعاء منشوري مملوء بالماء . لكن هذه الألوان تثبت أن الأشعة غير المتجانسـة تتباعد وينفصل الواحد منها عن الآخر بفعل انكساراتها غير المتساوية ، كما سيظهر ذلك لاحقاً بشكل أوضح . وبالعْكس ، فإن البياض الدائم يُظهر أنه في حال تعادل ورود الأشعة ، لا يوجد مطلقاً انفصال كهذا في الأشعة الخارجة ، وبالتالي لا يوجد أي عدم مساواة في انكساراتها الكلّية . من هنا أعتقد أنني استطيع استخـلاص المبرهنتين التاليتين :

I . هنالك نسبة معينة بين زيادات جيوب انكسار أنواع مختلفة من الأشعة ، عن جيب ورودها المشترك ، وذلك عندما تحدث الانكسارات مباشرة من عدة أوساط أكثف الى الوسط الواحد ذاته والأقل كثافة ، كالهواء مثلاً .

II . تتألف نسبة جيب الورود الى جيب الانكسار ، في النوع الوحيد ذاته من الأشعة العابرة من وسط الى آخر ، من نسبة جيب الورود الى جيب الانكسار الحاصل من الوسـط الأول الى أي وسط ثـالث ، ومن نسبة جيب الورود الى جيب الانكسـار الحاصل من هذا الوسط الثالث الى الوسط الثاني .

تعطينا المبرهنة الأولى ، الانكسارات التي تتعرض لها أشعة كـل نوع ، عنـد مرورها من أي وسط الى الهواء ، حالما نعرف انكسار أي نوع من الأشعة . اذا أردنا ، مثلاً ، أن نعرف ما هي الانكسارات التي يتعرّض لها كل نوع من الأشعة ، عند مروره

من مـاء المطـر الى الهـواء، فـإننـا نطـرح جيب الـورود المشتـرك، من الـزجـاج إلى الـهـواء، من جيـوب الانكسـار فتكـون الـزيـادات: 27, 27 1/8, 27 1/5, 27 1/3, 27 1/2، 27 2/3، 27 7/9، 28. فلـو افتـرضنـا أن نسبـة جيب ورود الأشعـة الأقـل انكسارية إلى جيب انكسـارها، عنـد مرورهـا من ماء المطـر إلى الهواء، هي 3 إلى 4، نستطيع أن نقول إنها كنسبة 1، أي فرق الجيبين، إلى 3، وهـو جيب الورود، وهكـذا يكون الرقم 27، وهو أقل هذه الزيادات المذكورة سابقاً، بالنسبة إلى الرقم 81. فيكون 81 جيب الـورود المشترك، من مـاء المطر الى الهـواء: بحيث اننا إذا زدنـا على هـذا الجيب كل الزيادات المذكورة أعلاه، نحصل على جيـوب الانكسارات المطلـوبة: 108، 108 1/8، 108 1/5، 108 1/3، 108 1/2، 108 2/3، 108 7/9، 109.

ونجد ، بواسطة المبرهنة الثانية ، الانكسار الحاصل من وسط الى آخر ، عندما نجد الانكسارات الحاصلة ، من كل من هذين الوسطين الى وسط ثالث : فلو كانت ، مثلاً ، نسبة جيب ورود أي شعاع ، يمر من الزجاج الى الهواء ، الى جيب انكساره ، كنسبة 20 الى 31 ، واذا كانت نسبة جيب ورود الشعاع ذاته ، الى جيب انكساره ، عند مروره من الهواء الى الماء ، كنسبة 4 الى 3 ، فإن نسبة جيب ورود هذا الشعاع الى جيب انكساره ، عند مروره من الزجاج الى الماء ، هي كنسبتي 20 الى 31 و4 الى 3 مقترنتين ، أي كنسبة ضرب 20 بـ 14 الى ضرب 31 بـ 3 ، أي كنسبة 80 الى 93 .

عند الاقرار بهاتين المبرهنتين في علم البصريات ، يصبح من السهل التعامل مع هذا العلم بشكل رحب وجديد ، لا باظهار ماهية الأشياء التي تساعد على جعل الرؤية تامة فحسب ، بل أيضاً بتحديد رياضي لجميع الظواهر المتعلقة بالألوان ، والمحتمل أن تنتج من الانكسارات : لأن هذا لا يتطلب سوى ايجاد انفصالات الأشعة غير المتجانسة وامتزاجاتها المختلفة والنسب الموجودة في كل مزيج . فبطريقة التفكير هذه ، فهمت تقريباً كل الظواهر المذكورة في هـذا المؤلف ، عـدا بعضها الآخـر الأقل ضـرورة للموضوع الرئيس . وأجرؤ على التأكيد ، نتيجة لنجاح التجارب التي أقمتها ، أن أي شخص يفكر بدقة أولاً ، ثم يقيم جميع تجاربه ، بواسطة زجاجات جيدة ، متخذاً كل الحيطة اللازمة ، ينجح دون شك في محاولته . لكن عليه ، قبل كل شيء ، تحديد الألوان التي تنتج من مزيج معين وتبعاً لنسب محدّدة .

القضية الرابعة

مبرهنة III

« نستطيع ، بطريقة التركيب ، أن ننشىء ألواناً مشابهة لألوان الضوء المتجانس بالنسبة للعين لا بالنسبة لثباتية الألوان أو لبنية الضوء الحقيقية . وبنسبة ما تكون هذه الألوان أكثر تركيباً فهي أقل زهواً وأعتم ، وتضعف في حال تركيب قوي جداً ، وتبهت حتى الاختفاء المطلق ، بينما يصبح المزيج أبيض أو رمادياً . ونستطيع أن ننشىء أيضاً ، بواسطة التركيب ، ألواناً لا تشبه كلياً أياً من ألوان الضوء المتجانس » .

إن مزيجاً من لونين متجانسين ، أحمر وأصفر ، يؤلف اللون الأصفر البرتقالي المشابه ، بالنسبة للعين ، للون البرتقالي الموجود بين الأحمر والأصفر في سلسلة الألوان البسيطة الممثلة بواسطة المنشور . أما بالنسبة للانكسارية ، فإن ضوء هذا البرتقالي الأخير متجانس وضوء الآخر غير متجانس : أي يبقى لون الواحد منهما ثابتاً ، اذا نظرنا اليه من خلال منشور ، أما لون الآخر فيتحوّل ويتفكّك الى اللونين المركّبين له ، أي الأحمر والأصفر . كذلك نستطيع ، بواسطة ألوان متجانسة متجاورة ، أن ننشىء ألواناً جديدة مشابهة للألوان المتجانسة المتوسطة . فهكذا يُنشىء مزيج الأصفر والأخضر لوناً متوسطاً بينهما يتحول ، بزيادة اللون الأررق اليه ، الى أخضر يقع في وسط الألوان الثلاثة المركّبة له . لأنه اذا كان الأصفر والأزرق مقسومين بالتساوي من الجهتين ، فإنهما يشدّان بالتساوي ، اللون الأخضر الموجود بينهما ، الى التركيبة ، ويبقيانه ، اذا صحّ التعبير ، في حالة توازن لا تسمح له بالانحياز الى الأصفر من جهة أكثر مما ينحاز الى الأزرق من الجهة الأخرى ، فتبقى هذه التركيبة ، بفعل هذين اللونين الممزوجين بهذه الطريقة ، متوسطة بشكل دائم . ونستطيع أن نزيد الى هذا المزيج الأخضر ، قليلاً من الأحمر والبنفسجي ، فيصبح ، من دون أن يختفي أبداً ، أقل زهواً وأعتم . واذا زدنا كمية الأحمر والبنفسجي ، يصبح هذا الأخضر اضعف أيضاً وأبهت ، لدرجة الانطفاء ، عندما تسيطر الألوان المزيدة ، ويتحول الى

أبيض أو الى أي لون آخر . كذلك اذا زدنا ، الى لون أي ضوء متجانس ، لون الشمس الأبيض المركّب من جميع أنواع الأشعة ، فإن هذا اللون لا يتلاشى أبداً ولا يتغير نوعياً ، لكنه يضعف . وبقدر ما نزيد عليه من هذا الضوء الأبيض ، فإنه يصبح أكثر ضعفاً وخفوتاً . وأخيراً ، اذا مزجنا الأحمر والبنفسجي ننشىء ، تبعاً لاختلاف نسبهما ، ألواناً أرجوانية مختلفة لا تبدو للنظر مشابهة للون أي ضوء متجانس ، ونستطيع ، من هذه الألوان الأخيرة ممزوجة بالأصفر والأبيض ، أن ننشىء ألواناً جديدة أخرى .

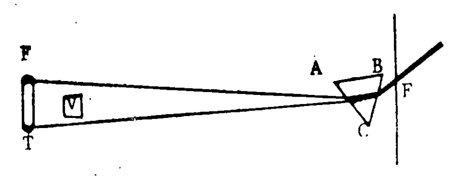
القضية الخامسة

مبرهنة IV

« نستطيع أن نركّب ، بواسطة الألوان ، اللون الأبيض وجميع الألوان الرمادية ، بين الأبيض والأسود : يتركب بياض ضوء الشمس من جميع الألوان الرمادية ، ممزوجة بنسب معيّنة»

(برهان مبني على التجارب)

التجربة التاسعة

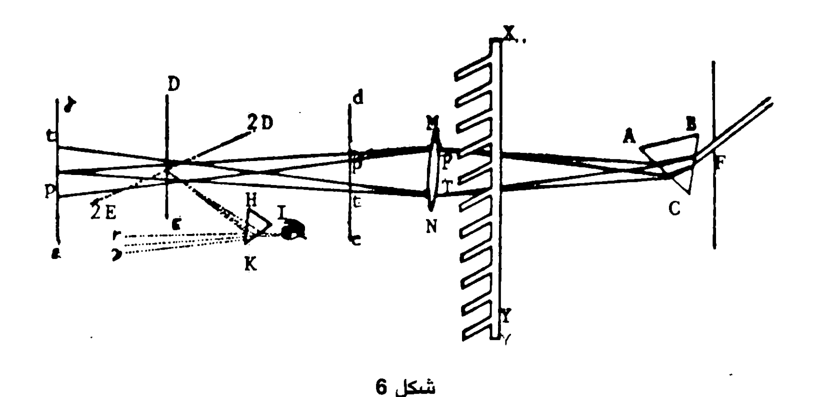


شكل 5

دخل ضوء الشمس الى غرفة معتمة من ثقب دائري صغير أقيم في دفة النافذة ، ثم انكسر بفعل منشور ليرسم صورة الشمس PT على الحائط المقابل : أمسكت بقطعة من الورق الأبيض V ، قرب هذه الصورة ، بحيث تضاء بالضوء الملوّن المنعكس من هذا المكان ، ومن دون أن تحجب أي جزء من هذا الضوء لدى مروره من المنشور الى الصورة . فوجدت أن الورقة تبدو ، حين تكون أقرب الى لون أكثر مما هي الى الألوان الأخرى ، مصبوغة بهذا اللون الأقرب ، ولكن حين تكون على مسافات متساوية ، أو شبه متساوية ، من جميع الألوان ، بحيث تضيئها كل هذه الألوان دفعة واحدة وبالتساوي، فإنها تبدو بيضاء. وفي هذه الوضعية الأخيرة، وفي حال حجب بعض

الألوان، فإن الورقة تخسر لونها الأبيض وتبدو بلون بـاقي الضوء الـذي لم يحجب. وهكذا كانت هذه الورقـة مضاءة بضـوء متعدد الألـوان الأحمر والأصفـر والأخضر والأزرق والبنفسجي ،وكـان كل جـزء من هذا الضـوء يحتفظ بلـونـه الخـاص حتى سقوطه عـلى الورقـة وانعكاسـه منها إلى العـين: بحيث انه لـو كان واحـد من هذه الأجزاء وحيداً (وصُدّ باقي الضوء) أو بكمية أكبـر بكثير من بـاقي الضوء المنعكس على الورقة، لكان صبغ هذه الورقة بلـونه الخـاص، وبمـا أنه فعليـاً ممزوج ببـاقي الألوان بنسبة ملائمة، فإنه يظهرها بيضـاء، لذا فهـو قد أنشـأ اللون الأبيض عنـد تركيبه مع هذا الباقي المذكور. تحتفظ الأجزاء المختلفـة من الضوء الملـوّن، المنعكس من الصورة، بألوانها الخاصة، بشكل دائم، حين تنتشر هنا في الهواء، لأنهـا، في أي مكان تصل فيه إلى نظر المشاهد، تظهر له مختلف أجزاء الصورة بألوانها الخاصـة. إن هذه الأجزاء المختلفة تحتفظ إذاً بألوانها الخاصة عندما تقع على الورقـة ٧، وما التـركيبة البيضـاء للضوء المنعكس عن هـذه الأخيرة إلّا نتيجـة الالتباس والمـزيـج الكامل لجميع هذه الألوان.

التجربة العاشرة :



شكل 6

لنفرض أن صورة الشمس هذه PT تسقط الآن على العدسة MN ، التي يزيد كبرها عن أربع بوصات ، والبعيدة ستة أقدام تقريباً عن المنشور ABC . إن شكل هذه العدسة يسمح لها بأن تجعل الضـوء الملوّن ، الذي يخرج متبـاعداً من المنشـور ، متقارباً ومتجمعاً في بؤرتها G الموجودة على بعد ستة أو ثمانية أقدام من العدسة ، ولنفرض أن الضوء يقع الآن عمودياً على ورقة بيضاء DE . اذا حركنا هذه الورقة ذهاباً واياباً ، نجد قرب العدسة ، كما في de ، أن كل صورة الشمس (المفترضة في pt) تبدو على الورقة مصبوغة بألوان قوية جداً ، بالطريقة التي شرحنا أعـلاه . لكن اذا

أبعدناها فإن هذه الألوان ستتقارب بشكل متواصل ، ويُضعِف بعضها البعض الآخر بامتزاجها أكثر فأكثر ، حتى اذا وصلت الورقة أخيراً الى البؤرة G ، حيث تتلاشى هذه الألوان كلياً وتتحوّل الى لون أبيض ، فإن كل الضوء يبدو عندئذ كدائرة صغيرة بيضاء على الورقة . بعد ذلك ، اذا أبعدنا الورقة أكثر عن العدسة ، فإن الأشعة المتقاربة سابقاً ستتقاطع في البؤرة G ثم تتباعد بعدها ، لتعيد اظهار الألوان بترتيب معاكس ، كما في δε مثلاً، حيث اللون الأحمر t موجود في الأعلى ، بينما كان في الأسفل سابقاً ، واللون البنفسجي p موجود في الأسفل بينما كان في الأعلى سابقاً .

لنوقف الآن الورقة في البؤرة G ، حيث يبدو الضوء كلياً أبيض ودائرياً ، ولندرس بياضه . أقول إن هذا البياض مركّب من الألوان المتقاربة : لأنه اذا حُجب واحد أو أكثر من هذه الألوان فإن البياض يختفي حالاً ، ويتحول الى لون ينشأ عن مزيج الألوان الأخرى التي لم تُحجب . ثم اذا عدنا وسمحنا لهذه الأخيرة بالمرور لتقع على اللون المركّب المذكور ، فإنها ستمتزج به معيدة البياض السابق الى حاله . وهكذا اذا حجب البنفسجي والأزرق والأخضر فإن الألوان الباقية ، الأصفر والبرتقالي والأحمر ، ستركّب على الورقة نوعاً من البرتقالي . واذا عدنا وسمحنا بمرور ما صددناه سابقاً فإنه سيقع على هذا البرتقالي المركّب ويمتزج به منتجاً أيضاً اللون الأبيض . كذلك اذا صُدّ الأحمر والبنفسجيّ، تركب الألوان الباقية الأصفر والأخضر والأزرق ، نوعاً من اللون الأخضر على الورقة ، ثم اذا سمحنا للأحمر والبنفسجي بالمرور فإنهما يسقطان على هذا الأخضر ويمتزجان به منشئين أيضاً الأبيض . وسوف تظهر البراهين اللاحقة بشكل أوضح أنه ، في هذه التركيبة المنشئة للأبيض ، لا تتعرض الأشعة المختلفة لأي تغيير في نوعياتها اللونية بسبب تأثير بعضها على البعض الآخر ، بل هي تتمازج فقط منشئة اللون الأبيض بفعل مزيج ألوانها .

اذا صددنا اللون الأحمر ثم سمحنا له بالمرور بالتعاقب ، وذلك بعد أن وضعنا الورقة خلف البؤرة G ، كما في δε، فلن يحدث أي تغيير في البنفسجي الباقي على الورقة ، كما كان مفروضاً لو كانت أنواع الأشعة المختلفة تؤثر تبادلياً ، الواحدة على الأخرى ، حيث تتقاطع في البؤرة G . كذلك بالنسبة للأحمر الموجود على الورقة ، فإنه لن يتغير أيضاً عندما نصدّ البنفسجي المتقاطع معه ونسمح له بالمرور تعاقبياً .

واذا وضعنا الورقة في البؤرة G ، ونظرنا عبر المنشور HIK ، الى الصورة البيضاء الدائرية في G ، وظهرت هذه الصورة ، التي نقلها الانكسار في المنشور الى ٢٧ ، مصبوغة بألوان متعددة ، أي بالبنفسجي في ٧ وبالأحمر في ٢ ، وبألوان أخرى بين الاثنين : بعد ذلك ، اذا أوقفنا ثم مرّرنا تعاقبياً وتكراراً اللون الأحمر عند مدخله الى العدسة ، فسنراه يتلاشى ثم يعود الى الظهور بعدد المرّات ذاته ، لكن البنفسجي في ٧

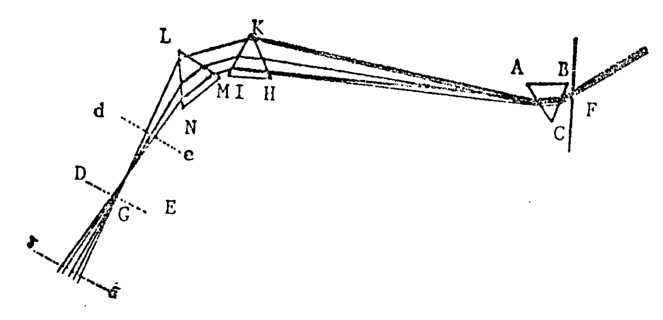
لن يتعرض لأي تغيير من جرّاء ذلك . كذلك اذا صددنا الأزرق عند مدخله الى العدسة ثم مرّرناه تعاقبياً ، فسيختفي الأزرق ثم يظهر من جديد بالمقدار ذاته من المرّات ، من دون أن يحدث أي تغيير في الأحمر في r . لذا فإن اللون الأحمر يتعلّق بنوع خاص من الأشعة ، والأزرق بنوع آخر ، ولا يؤثر الواحد منهما على الآخر أبداً ، عند امتزاجهما في البؤرة G .

لقد اعتبرت أيضاً أنه ، حين تكون الأشعتان ، الأكثر انكسارية Pp والأقل انكسارية Tt مائلتين الواحدة الى الأخرى بفعل التقارب ، واذا جعلنا الورقة شديدة الانحناء بالنسبة لهاتين الأشعتين في البؤرة G ، فإنها قد تعكس واحداً من هذين النوعين من الأشعة بغزارة أكبر ممّا تفعل بالنوع الآخر . وهكذا يصبح الضوء المعكوس مصبوغاً ، في هذه البؤرة ، بلون الأشعة المسيطرة ، بشرط أن يحتفظ كل من هذه الأشعة بلونه أو مواصفاته اللونية ، في الأبيض المركب الذي تنشئه في البؤرة المذكورة، لأنه اذا لم يحتفظ كل نوع من الأشعة بلونه الخاص في الأبيض المذكور ، وأخذ كل واحد على حدة وضعية منفردة ليثير فينا الأحساس باللون الأبيض ، لما استطاع فقدان بياضه بفعل الانعكاسات القوية . لذلك جعلت الورقة شديدة الانحناء على الأشعة ، كما في التجربة الثانية من هذا الجزء من الكتاب ، لكي تستطيع الأكثر انكسارية أن تنعكس أغزر من الأخرى ، فتحوّل البياض حالاً وبالتتالي الى أزرق ونيلي وبنفسجي . ثم أحنيتُ الورقة الى الجهة المعاكسة لكي تنعكس الأشعة الأقل انكسارية بكمية أكبر من غيرها ، فتحوّل البياض بالتتالي الى أصفر وبرتقالي وأحمر .

أخيراً ، صنعت جهازاً XY على شكل مشط ، عدد أسنانه ست عشرة وكبرها بوصة ونصف البوصة وبينها فاصل بوصتين تقريباً . ثم وضعت بالتعاقب أسنان هذا الجهاز قريباً من العدسة ، وحجبت بواسطة السن المعترضة جزءاً من الألوان ، بينما تذهب الألوان الأخرى، التي تمر من خلال فواصل هذه السن الى مجاوريها، لتسقط على الورقة DE راسمة صورة للشمس دائرية الشكل . لقد وضعت الورقة أولاً بشكل تستطيع الصورة فيه أن تبدو بيضاء كلما سحبت المشط ، ثم، وبعد وضع المشط بالشكل المشار اليه سابقاً ، كان البياض يتحول دائماً ، بسبب الجزء المحجوب من الألوان قريباً من العدسة ، الى لون مركّب من الألوان غير المحجوبة ، وكان هذا اللون الأخير يتغيّر ، بسبب تحريك المشط ، بشكل متواصل ، ممّا جعل جميع هذه الألوان ، الأحمر والأصفر والأخضر والأزرق والأرجواني ، تتعاقب الواحد بعد الآخر ، لدى مرور كل سن من المشط بدورها أمام العدسة . جعلت إذاً جميع الأسنان تمرّ بالتعاقب أمام العدسة ، وكنت أرى عند مرورها ببطء ، تعاقباً متواصلاً للألوان على الورقة . لكنني عندما كنت أُمرّر الأسنان بسرعة كبيرة لدرجة عدم التمييز بين الألوان ، بسبب تعاقبها السريع ، فقد كان كل من هذه الألوان يختفي كلياً . لم أعد أرى الأحمر ولا الأصفر ولا

الأخضر ولا الازرق ولا الارجواني ، بل كان ينشأ عن المزيج الغامض لجميع هذه الألوان لون واحد أبيض منتظم ، في حين لم يكن أي جزء من الضوء ، الذي يظهر أبيض بفعل مزيج جميع هذه الألوان ، أبيض فعلياً . كان جزء منه أبيض ، والآخر أصفر ، والثالث أخضر ، والرابع أزرق ، والخامس أرجوانياً. وهكذا كان كل جزء يحتفظ بلونه الخاص حتى يقع على مركز حساسية العين . فلو تلاحقت الانطباعات ببطء يسمح برؤية كل منها على حدة ، لكان احساس العين بها مميّزاً لجميع الألوان ، الواحد بعد الآخر ، وذلك بتعاقب متواصل . أما اذا تلاحقت الانطباعات بسرعة لا تسمح برؤية كل منها على حدة ، فسينشأ عنها مجتمعة احساس مشترك ، لا لون خاص له ، بل اسهام منها جميعاً ، وهذا هو الاحساس بالبياض . ان سرعة التعاقب تخلط انطباعات الألوان المختلفة في مركز الاحساس ، فينتج من ذلك احساس مختلط . اذا حرّكنا فحمة مشتعلة بشكل دائري متواصل وبسرعة كبيرة ، فإن دائرة كاملة تبدو لنا مشتعلة ، ومردّ ذلك الى ان الاحساس الذي تثيره الفحمة المتوهجة في مختلف أجزاء الدائرة يبقى منطبعاً في مركز احساس العين حتى ترجع الفحمة الى المكان ذاته . وهكذا ، عندما تتتابع الألوان بسرعة هائلة ، يبقى انطباع كل لون في مركز الاحساس ، حتى نهاية دوران جميع الألوان وعودة اللون الأول من جديد ، ممّا يجعل انطباعات جميع الألوان المتتابعة بسرعة كهذه موجودة في مركز الاحساس دفعة واحدة ، فتتشارك باثارة احساس مشترك بجميع الألوان. تظهر هذه التجربة انه من البديهي ان انطباعات جميع الألوان، بامتزاجها المشابه للتطابق، تثير وتنشىء احساساً باللون الأبيض، أي أن هذا الأخير مركَّب من امتزاج جميع الألوان معاً.

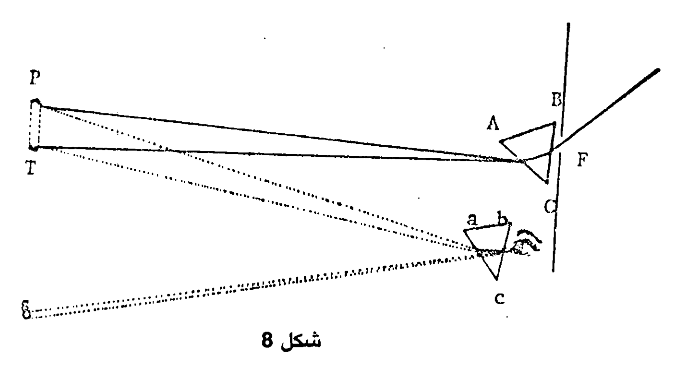
اذا سحبنا الآن المشط لنسمح لجميع الألوان أن تمر دفعة واحدة ، من العدسة الى الورقة ، حيث تمتزج عند هذه الأخيرة وتنعكس منها مجتمعة الى عيون المشاهدين ، فإن انطباعاتها في مركز الاحساس تكون أدقّ امتزاجاً وأكمل ، ممّا يثير احساساً أقوى بالبياض .



شكل 7

نستطيع استبدال العدسة بمنشورين HIK و LMN ، يكسران الضوء الملوّن باتجاه معاكس للانكسار الأول فيحوّلان الأشعة المتباعدة سابقاً الى أشعة متقاربة تتجمع في G ، كما يظهر في الشكل السابع ، لأن اتحاد الأشعة وامتزاجها في أي مكان يركبان اللون الأبيض تماماً كما حصل عند استخدام العدسة .

التجربة الحادية عشرة :

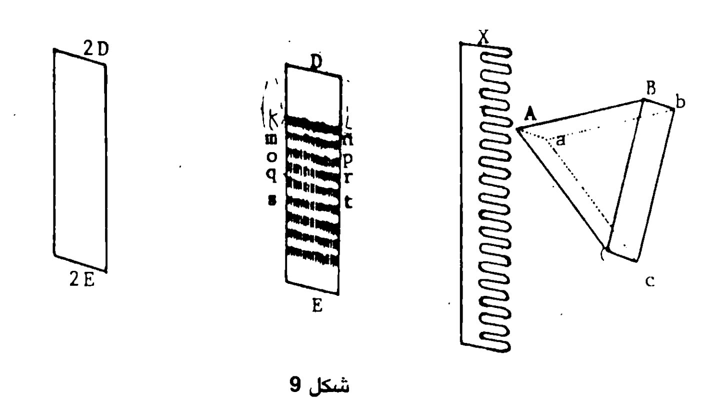


شكل 8

لنفرض أن صورة الشمس الملوّنة PT تقع على حائط غرفة معتمة ، كما في التجربة الثالثة من الجزء الأول من الكتاب ، ولننظر اليها من خلال منشور abc ، مواز للمنشور ABC الذي أنشأها بواسطة الانكسار : بحيث تبدو هذه الصورة ، من خلال هذا المنشور الثاني ، في مكان تحت مكانها السابق ، في S مثلاً بالنسبة الى اللون الأحمر T . اذا اقتربنا الآن من الصورة PT ، فإن الطيف S سيبدو متطاولاً وملوناً مثل الصورة PT ، لكن اذا ابتعدنا عنها فإن ألوان الطيف S ستتجاور أكثر فأكثر حتى تتلاشى كلّياً ويصبح الطيف S أبيض ودائرياً بشكل تام : واذا ابتعدنا أكثر أيضاً فستعود الألوان للظهور ولكن بترتيب معاكس . فإن الطيف S يبدو أبيض عندما تتعرّض الأشعة ، المختلفة الأنواع والمتقاربة من أماكن مختلفة في الصورة PT باتجاه المنشور abc ، الى انكسارات غير متساوية بفعل هذا المنشور ، بحيث تتباعد ، عند مرورها من هذا المنشور الى العين، من نقطة واحدة من الطيف S ، ممّا يجعلها تسقط على نقطة واحدة ذاتها من العين ، حيث تتمازج وتتطابق مجتمعة .

ولو استعملنا هنا المشط وحجبنا ألوان الصور PT بالتعاقب بواسطة أسنانه ، فسيصطبغ الطيف S ، بشكل متواصل ، بألوان متعاقبة عندما يتحرك المشط ببطء . لكن اذا سرَّعنا حركة المشط وتعاقبت الألوان بسرعة ، لم نعد نستطيع معها أن نرى كلاً منها على حدة ، فإن احساساً بمزيج غامض من جميع هذه الألوان يجعل الطيف يبدو أبيض .

التجربة الثانية عشرة :



شكل 9

لقد جعلت نور الشمس ، الواصل الى مشط XY من خلال منشور كبير ABC موضوع قبل المشط مباشرة ، يسقط من خلال فُرَج أسنان هذا الأخير على ورقة بيضاء DE . وكان عرض هذه الأسنان مساوياً للفُرج ، وكان عرض سبعة أسنان من المشط مع فرجها مساوياً لبوصة واحدة. عندما كانت الورقة على بعد بوصتين أو ثلاث تقريباً من المشط ، كان الضوء المار من مختلف الفرج يرسم المقدار ذاته من صفوف الألوان kl و mn و op و qr .. الخ . وكانت هذه الصفوف متوازية ومتجاورة من دون أي مزيج من اللون الأبيض . وحين كنا نحرّك المشط ، دون انقطاع ، من الأعلى الى الأسفل ومن الأسفل الى الأعلى ، كانت هذه الصفوف تهبط وتعلو على الورقة . أما حين كانت حركة المشط سريعة لدرجة استحالة تمييز الألوان ، فقد كانت الورقة تبدو كلها بيضاء ، بسبب تمازج هذه الألوان وتطابقها في مركز احساس العين .

والآن ، اذا أوقفنا المشط وأبعدنا الورقة أكثر عن المنشور ، فإننا نرى صفوف الألوان المختلفة تنتشر وتتمدّد متداخلة أكثر فأكثر الواحدة في الأخرى : فيُضعِف بعضها البعض الآخر بسبب المزيج الحاصل، حتى إذا أصبحت الورقة على بعد قدم من المشط، أو أكثر بقليل (لنفرضها في المكان 2D2E) فإن الألوان يُضعف الواحد منها الآخر تبادلياً لدرجة أنها تصبح بيضاء.

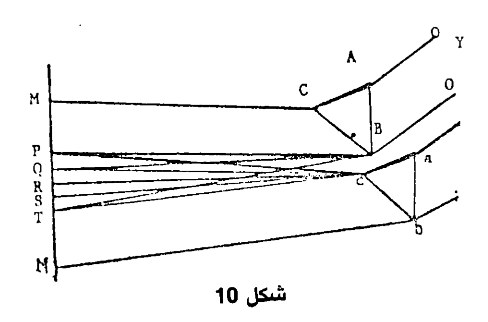
لنحجب الآن ، بواسطة أي حاجز كان ، الضوء المار عبر أي واحدة من فرج الأسنان ، بحيث نلغي صفّ الألوان الواصل منها : عندئذ سنجد أن ضوء الصفوف الأخرى سينتشر في مكان الصف الملغي ويصبح ملوّناً . ثم اذا عدنا وسمحنا للصف المذكور بالمرور كالسابق ، فإن لونه سوف يسقط على ألوان الصفوف الأخرى ويمتزج بها مظهراً اللون الأبيض من جديد .

ولنعتبر الآن أن الورقة 2D2E شديدة الانحناء بالنسبة للأشعة الواردة ، بحيث

تستطيع الأشعة الأكثر انكسارية أن تنعكس بكمية أكبر من باقي الأشعة . من هنا يتحول لون الورقة البيضاء ، الى لون ازرق وبنفسجي ، بفعل زيادة كمية هذه الأشعة . ثم لنفرض أن الورقة أصبحت الآن منحنية بالقدر ذاته من الجهة المعاكسة حتى تنعكس الأشعة الأقل انكسارية بكمية أكبر من باقي الأشعة ، فإن البياض سيتحوّل عندئذ ، وبسبب زيادة هذه الأشعة ، الى لون اصفر وأحمر. ان الأشعة المختلفة تحتفظ اذاً ، في هذا الضوء الأبيض ، بمواصفاتها اللونية ، حتى اذا أصبح أي نوع من الأشعة أكثر غزارة من غيره ، فإنه يظهر لونه الخاص تبعاً لزيادته وتفوقه .

واذا طبّقنا التعليل نفسه على التجربة الثالثة من هذا الجزء الثاني من الكتاب ، نستنتج أن اللون الأبيض لكل ضوء مكسور يتركّب من ألوان مختلفة تعيد اليه عند امتزاجها من جديد اللون الأبيض ذاته الذي كان للضوء قبل وروده .

التجربة الثالثة عشرة :



شكل 10

لعبت فُرَج المشط المختلفة ، في التجربة السابقة ، دور المقدار عينه من المناشير ، عندما أنتجت كل فرجة منها ما ينتجه المنشور . لذلك حاولت تركيب اللون الأبيض بمزج الألوان المتأتية من مناشير مختلفة عوضاً عن الفرج : لقد فعلت ذلك بواسطة ثلاثة مناشير فقط ، وأحياناً بواسطة منشورين فقط ، كما نرى في التجربة التالية : لنضع منشورين ABC و abc ، لهما زاويتا كسر متساويتان B و b ، متوازيتان بحيث تمسّ زاوية كسر احدهما B الزاوية C في قاعدة الآخر ، وبحيث يتلاقى مستوياهما CB و cb ، اللذان تخرج الأشعة منهما ، مباشرة . ولنفرض الآن أن الضوء العابر هذين المنشورين يسقط على الورقة MN البعيدة عنهما ثماني أو اثنتي عشرة بوصة تقريباً ، وأن الألوان التي ينشئها طرفا المنشورين الداخليين B و C تمتزج مجتمعة في PT لتركّب اللون الأبيض . لأننا اذا سحبنا أحد المنشورين فإن الألوان الناشئة عن الآخر ستظهر في المكان ذاته PT ، وحالما نعيد المنشور المسحوب الى مكانه ، بحيث تستطيع ألوانه أن تقع في PT على ألوان المنشور الآخر ، فإن مزيج ألوان المنشورين يعيد اللون الأبيض للظهور .

وتنجح هذه التجربة أيضاً ، حين تكون زاوية المنشور الأسفل b أكبر بقليل من زاوية المنشور الأعلى B ، ويكون هنالك فراغ متبق BC بين الزاويتين الداخليتين B و C (كما نرى في الشكل) ، وحين لا يكون المستويان BC و bc متلاقيين مباشـرة ولا متوازيين . لأنه يكفي لنجاح هذه التجربة أن تمتزج جميع أنواع الأشعة بطريقة منتظمة على الورقة في PT . اذا احتلت الأشعة الأكثر انكسارية ، والآتية من المنشور الأعلى ، كل المكان من M حتى P ، فإن النوع ذاته من الأشعة الآتية من المنشور الأسفل ستبدأ من P وتحتل كل المكان بين P و N . واذا احتلت الأشعة الأقل انكسارية ، والآتية من المنشور الأعلى ، المكان MT ، فإن النوع ذاته من الاشعة الآتية من المنشور الآخر ستبدأ من T وتحتل المكـان الباقي TN . واذا انتشـر نوع من الأشعـة المتوسـطة الانكسارية ، والآتية من المنشور الأعلى ، في المكان MQ ، ونوع آخر منها في المكان MR ونوع ثالث منها في المكان MS ، فإن الأنواع ذاتها من الأشعة الآتية من المنشور الأسفل ستضيء بالمقابل الأمكنة الباقية QN و RN و SN . ويطبّق ما قلته هنا على جميع أنواع الأشعة الأخرى . فبهذه الوسيلة ، ستتشتّت أشعة كل نوع بطريقة منتظمة ومتساوية على كل المكان MN ، وتمتزج بالنسبة ذاتها في كل مكان ، منتجة بذلك اللون ذاته حيثما كان . وبما أنها تنتج ، بسبب هذا المزيـج ، اللون الأبيض في المكانين الخارجيين MP و TN ، فإنها سوف تنتج أيضاً هذا اللون في المكان الداخلي PT . هذا هو أساس التركيب المنتج للبياض في هذه التجربة : وهنالك وسائل أخرى استعملتها لإقامة تركيب مشابه ، فحصلت دائماً على اللون الأبيض .

وأخيراً ، لنحجب بالتعاقب أضواء المنشورين الملوّنة والواقعة على المكان PT ، بواسطة أسنان مشط ذات عرض مناسب . اذا حرّكنا المشط ببطء فسيبدو المكان PT ملوناً : لكنه سوف يبدو أبيض فيما لو سرّعنا حركة المشط بحيث لم نعد نستطيع تمييز تعاقب الألوان .

التجربة الرابعة عشرة :

لقد انتجت ، حتى الآن ، اللون الأبيض بمزج ألوان المناشير . ولكي نمزج الآن ألوان الأجسام الطبيعية ، نأخذ ماءً مثخناً بقليل من الصابون ونحرّكه حتى ترتفـع رغوته . ولننظر بانتباه الى هذه الرغوة ، بعد أن تهدأ قليلاً ، فسوف نرى ألواناً مختلفة على سطح مختلف الفقاقيع التي تتألف منها هذه الرغوة . لكن اذا ابتعدنا عنها لدرجة لا نستطيع فيها تمييز مختلف الألوان ، فستبدو حينئذ كل الرغوة بيضاء وبياضها تاماً .

التجربة الخامسة عشرة :

لقـد حاولت تـركيب اللون الأبيض بمزج المسـاحيق الملوثـة التي يستعملهـا الرسّامون ، فلاحظت أن جميع هذه المساحيق تلغي وتطفىء في داخلها جزءاً مهما من

الضوء الذي يضيئها ، لأنها تصبح ملوّنة عند عكسها ضوء لونها بكمية كبيرة وضوء الألوان الأخرى بكمية أقل . وهي ، في كل حال ، لا تعكس ضوء لونها بغزارة ما تفعله الأجسام البيضاء . فإذا عرّضنا مثلاً معدن الرصاص الأحمر وورقة بيضاء الى الضوء الأحمر من طيف ملوّن أنشأناه في غرفة معتمة ، بواسطة منشور كاسر ، كما سبق ان ذكرنا في التجربة الثالثة من الجزء الأول ، فستبدو الورقة أكثر اضاءة من المعدن ، فهي بالتالي تعكس الأشعة الحمراء بغزارة أكثر مما يفعل المعدن المذكور . واذا عرّضناهما الى ضوء أي لون آخر ، فسيتخطى الضوء المنعكس عن الورقة الضوء المنعكس عن المعدن بنسبة أكبر بكثير . كذلك بالنسبة لأي مسحوق من أي لون آخر : وبالتالي يجب علينا ألاّ نتوقع أن يُنتج أي مزيج من هذه المساحيق لوناً ابيض صافياً وواضحاً كما تفعل الورقة ، بل فقط لوناً ابيض معتماً ومبهماً كالذي ينشئه مزيج من الضوء العتمة ، أو من الأبيض والأسود ، أي نوعاً من اللون الرمادي أو الأسمر ، أو المشقرّ ، كلون أظافر الانسان أو كلون الفئران أو الرماد أو الحجارة العادية أو الغبار أو وحل الطرقات أو أشياء أخرى كهذه . لقد ركّبت غالباً هذا النوع من الأبيض المعتم بمزيج من المساحيق الملوّنة . وهكذا اذا مزجت جزءاً من معدن الرصاص الأحمر مع خمسة أجزاء من الزنجار ، أحصل على تركيب بلون أسمر مشابه للون الفأرة . لأن هذين اللونين يتركب كل منهما على حدة من ألوان أخرى بحيث ينشئان عند مزجهما مزيجاً من جميع الألوان : ولقد استعملت الرصاص الأحمر ، بنسبة أقل من الزنجار لأن لون الأول أقوى بكثير من لون الآخر وركّبت أيضاً مزيجاً من جزء من الرصاص الأحمر وأربعة أجزاء من كربونات النحاس فأعطى لوناً أسمر يميل قليلاً الى الأرجواني . ثم أضفت إليه مزيجاً من الزرنيخ الأصفر orpiment والزنجار بنسبة معينة، فاختفى اللون الأرجواني وأصبح المزيج أسمر تماماً وبصفاء تام. لكن التجربة تنجح أكثر من دون الرصاص الأحمر، كما سأعرضها هنا. لقد أضفت تدريجاً الى الزرنيخ الأصفر مادة أرجوانية زاهية وصارخة، يستعملها الرسامون عادة، حتى تحوّل الزرنيخ من الأصفر إلى الأحمر الباهت. ثم بدأت أزيل هذا الأحمر بمزجه مع قليل من الزنجار وأكثر قليلاً من اللازورد حتى بدا بلون رمادي أو أبيض باهت بشكل أنه لا يميل الى أحد الألوان السابقة أكثر من غيره. لأن الكل اتخذ، بهذه الطريقة، لوناً أبيض مشابهاً للرماد أو للخشب المقطوع حديثاً أو لجلد الانسان. وبما أن الزرنيخ يعكس الضوء أكثر من أي من المساحيق الأخرى، فإنه يسهم أكثر من الباقي في بياض هذا اللون المركّب. وبما أن للمساحيق من النوع ذاته درجات مختلفة من الجودة، فمن الصعب جداً تحديد النسب بدقة. ولكن يجب عند استعمال مسحوق معين، أن ننقص أو نزيد من نسبته تبعاً لكثرة قتم لونه أو قلته.

ويمكن أيضاً أن ننتج هذين اللونين ، الرمادي والأسمر بمزيج من الأبيض

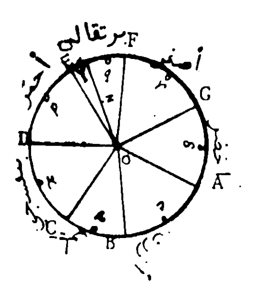
والأسود بحيث لا يختلفان بالتالي أبداً عن الأبيض التام بالنسبة لنوعية الألوان بل في درجة الوضوح فقط : فمن البديهي اذاً أنه يكفي لجعلهما تامي البياض ، أن نزيد فقط من زهوهما . وعلى العكس ، اذا جعلناهما أكثر اضاءة ، يمكننا رفع درجة بياضهما الى الكمال ، لذا نستخلص أن هذين اللونين هما من نوعية الأبيض الأكثر كمالاً ولا يختلفان عنه الاّ بكمية الضوء . وهذا ما أقنعتني به التجربة التالية . لقد أخذت ثلث المـزيج الرمادي المذكور أعلاه (المركّب من الزرنيخ الأصفر والأرجوان والزنجار وكربونات النحاس) ووضعت طبقة كافية السمك منه على أرضية غرفتي ، في مكان يصل اليه نور الشمس من خلال نافذة مفتوحة ، ووضعت في الظل ، قريباً جداً من هذا الطلاء ، قطعة من الورق الأبيض بالكبر ذاته . ثم ابتعدت عن هذا المكان مسافة 12 أو 18 قدماً حتى لم أعد استطيع تمييز عـدم المساواة في سـطح المسحوق ولا الظلال النـاشئة عن جسيماتها الرملية ، فبدا لي المسحوق أبيض صارخاً لدرجة تتخطى بياض الورقة ، خصوصاً اذا حجب بعض التعكير الضوء المنعكس قليلاً ، وبدت الورقـة ، في هذه الحالة وبالمقارنة مع المسحوق ، بلون رمادي مماثل للون المسحوق سابقاً . لكن اذا وضعنا الورقة في مكان يصل اليه نور الشمس عبر زجاج النافذة، أو إذا أغلقنا النافذة لكي يصل نور الشمس الى المساحيق عبر الزجاج ، أو اذا زدنا أو أنقصنا بواسطة أخرى النور المضيء للورقة والمساحيق ، فبـاستطاعتنـا أن نجعل النـور المضيء للمساحيق أقوى من الذي ينير الورقة ، بنسبة مدروسة تظهر بها المساحيق والورقة على درجة من البياض مطلقة التساوي . لأنني حين كنت أقوم بهذه التجربـة ، جاء صديق لزيارتي فأوقفته عند باب الغرفة ، وقبل أن أقول له أي شيء عن الألوان الظاهرة على الأرضية ولا عن الورقة المجاورة ولا عما كنت أعزم القيام به ، سألته أي من هذين الأبيضين أفضل ، وبم يختلف الواحد عن الآخر ، وبعد أن نظر اليهما بانتباه أجابني أنهما أبيضان قويّان وجيّدان وأنه لا يستطيع أبداً تحديد الأفضل منهما أو ما يفرق بينهما . ولكن اذا اعتبرنا أن اللون الأبيض للمسحوق المعرض للشمس مركّب من ألوان كل من المساحيق المركّبة (زرنيخ وأرجوان وكربونات النحاس والزنجار) عند تعرّضها عـلى حدة للشمس ذاتهـا، فيجب علينا أن نستنتـج من هذه التجـربة، وكـذلـك من سابقتها، أن باستطاعة ألوان مختلفة وممزوجة أن تنشىء لوناً أبيض تاماً.

ويستتبع ما قلته هنا إن نور الشمس مركّب من جميع الألوان التي تعطيها أنواع الأشعة المختلفة المنشئة لهذا النور الى الورقة أو الى أي جسم أبيض آخر تقع عليه ، عندما تكون منفصلة بعضها عن البعض الآخر بسبب اختلاف انكساريتها . لأن الألوان (في الاقتراح الثاني) لا تتبدل ، وفي كل مرة تمتزج جميع هذه الأشعة وألوانها ، فإنها تعود لتنشىء الضوء الأبيض السابق ذاته .

القضية السادسة

مسألة II

« كيف نعرف اللون المركّب من مزيج ألوان أوّلية ، متى عرفنا نوعية كلّ منهـا وكمّيته في هذا المزيج » .



شكل 11

لنرسم دائرة ADF مركزها O وشعاعها OD ، مقسومة الى سبعة أجزاء CD, BC, AB, GA, FG, EF, DE ، تتناسب مع أنغـام الموسيقى السبعـة أو مع فـواصل الأصوات الثمانية التي تحويها ثمانية الوحدات صول ، لا ، فا ، صول ، لا ، مي ، فا ، صـول، أي متناسبة مع الأعداد 1/9، 1/16، 1/10، 1/9، 1/10، 1/16، 1/9. ولـيرمـز الجـزء الأول DE إلى اللـون الأحمـر والثـانـي EF الى البـرتقـالي، والثـالـث FG الى الأصفـر، والـرابـع GA الى الأخضر، والخـامس AB الى الأزرق، والسـادس BC الى النيـلي، والسـابـع CD إلى البنفسجـي. ولنتخيـل أن لـدينـا هنـا جميـع ألـوان الضـوء البسيط، الممتـدة تـدريجـاً من الـواحـد إلى الآخر، كما كـانت الحال عنـدما كـانت هذه الألـوان تنفصل بـواسطة منشـور. أما الدائرة DEFGABCD فتمثّل سلسلة الألوان من طرف صـورة الشمس الملونـة حتى

طرفها الآخر : بحيث نجد من D حتى E جميع درجـات اللون الأحمر ، وفي E اللون المتوسط بين الأحمر والبرتقالي ، ومن E حتى F جميع درجات البرتقالي ، وفي F اللون المتـوسط بين البرتقالـي والأصفر ، ومن F حتى G جميـع درجات الأصفـر ، وهكذا دواليك . ولنعتبر **p** مركز ثقالة القوس DE مراكز ثقالة الأقواس ,x, u, t, s, r, q, CD, BC, AB, GA, FG, EF ، المقابلة . ولنرسم حول مراكز الثقالة هذه دوائر متناسبة مع عدد أشعة كل لون من المزيج ، أي أن الدائرة p تتناسب مع عدد أشعة اللون الأحمر في هذا المزيج ، والدائرة q تتناسب مع عدد أشعة اللون البرتقالي في هذا المزيج ،... الخ . ولنجد الآن مركز الثقالة المشترك لجميع هذه الدوائر x, u, t, s, r, q, p . لنعتبر هذا المركز Z : فإذا رسمنا من مركز الدائرة ADF خطاً مستقيماً OY يمر في النقطة Z حتى محيط الدائرة ، فإن مكان النقطة Y على هذا المحيط يظهر لنا ماهية اللون الناتج من تركيب جميع الألوان الموجودة في المزيج المعين ، ويكون الخط OZ متناسباً مع كمال هذا اللون أو قوته ، أي مع ابتعاده عن اللون الأبيض : فاذا وقعت Y مثلاً في وسط F و G ، لأصبح اللون المركب أفضل لون أصفر ، أما اذا ابتعدت Y من نقـطة الوسط واتجهت نحو F أو G ، لأصبح بالتالي اللون المركب اصفر يميل الى البرتقالي أو الى الأخضر . واذا وقعت Z على محيط الدائرة ، يصبح اللون المركب قوياً وزاهياً الى أعلى درجة . واذا وقعت في مكان متوسط بين مركز الدائرة ومحيطها ، فيصبح اللون بنصف القوة السابقة ، أي مشابهاً للون الناتج عن الأصفر الأكثر زهواً بعد مزجه بكمية مساوية من الأبيض . واذا وقعت في المركز O ، يتحول اللون ، بعد خسارته لكل قوته ، الى أبيض . ولكن تجدر الملاحظة أنه اذا وقعت النقطة Z على الخط oD ، أو قريباً جداً منه ، فلن يكون اللون المركب أياً من الألوان المنشورية ، لأن عنصريه الرئيسين هما الأحمر والبنفسجي ، بل لوناً ارجوانياً يميل الى الأحمر أو الى البنفسجي ، تبعاً لمكان وجود النقطة Z من جهة من الخط DE باتجاه E، أو من الجهة الأخرى باتجاه C، وفي كلتا الحالتين يكون للبنفسجي المركب وهـج وزهو أكبـر ممّا للبنفسجي البسيط. عـلى كل حال، إذا مزجنا فقط لونين من الألوان الأولية، يقابل الواحد منهما الآخر في الدائرة، وذلك بنسبة متساوية، فإن النقطة Z ستقع تماماً في المركز O. ومع ذلـك فإن اللـون المركّب من هذين اللونين لن يكون تام البياض بل ضعيفـاً ومغفلاً. لأنني لم أستطـع أبداً حتى الآن أن أنشىء لوناً أبيض حقيقياً بمزج لونين أوليين فقط. وانني أجهل ما إذا كان باستطاعتي انشاؤه بواسطة ثلاثة ألوان أولية، مـأخوذة من عـلى مسافـات متسـاوية عـلى محيط الدائـرة، لكنني لا أشك أبـداً في امكان انشـاء الأبيض بمزج أربعـة أو خمسة ألـوان. لكن هذا نـوع من أنواع الفضـول التي لم تسهم أبداً، أو تسهم قليلاً جداً، في براعة ظواهر الطبيعة. لأنه يـوجد في جميـع الألوان البيضـاء، التي تنتجها الطبيعة عادة، مزيج من جميع أنواع الأشعة وبالتالي تـركيب من جميع الألوان.

ولاعطاء مَثَل لهـذه القاعـدة ، أفترض أن لونـاً يتركب من الألوان المتجـانسة التالية : جزء بنفسجي وجزء نيلي وجزءان أزرقان وثلاثة أجزاء خضراء وخمسة أجزاء صفراء ، وستة أجزاء من البرتقالي وعشرة أجزاء من الأحمر . وارسم الدوائر s, t, u, x, p, q, r التي تتناسب مع هذه الأجزاء بالتتالي ، أي اذا كانت الدائرة x واحداً ، فالدائرة u تكون واحداً ، والدائرة t اثنين ، والدائرة s ثلاثة ، والدوائر p, q, r تكون خمسة ، ستة وعشرة . ثم اجد مركز ثقالة جميع هذه الدوائر المشترك Z ، وأرسم من النقطة Z الخط OY ، فتقع النقطة Y على محيط الدائرة بين E و F ، أقرب قليلاً إلى E منها الى F . لذا أستنتج ان اللون المركب من هذه الألوان البسيطة ، سيكون برتقالياً يميل أكثر قليلاً الى الأحمر منه الى الأصفر . وأجد أيضاً أن OZ أقل قليلاً من نصف OY ، وأعلن بالتالي ان كمال هذا البرتقالي ، أو قوته ، هو أقل قليلاً من نصف ما للبرتقالي البسيط : أعني أن هذا البرتقالي مشابه للذي ينتج من مزج برتقالي متجانس مع أبيض جيّد بنسبة الخط OZ الى الخـط ZY ، وهي نسبة لا تعتمـد على كمية مسحـوقي البرتقـالي والأبيض الممزوجين ، بل على كمية الضوء الذي ينعكس منهما .

وبالرغم من أن لا صحة رياضية لهذه القاعدة ، فإنني اعتقد بصحة تـطبيقها العملي ، ويكفي لبرهان حقيقتها ، وبالعين المجردة ، أن نوقف أي لون من الألوان عند دخوله الى العدسة ، طبقاً للتجربة العاشرة من الجزء الثاني من هذا الكتاب . وذلك لأن الألوان الأخرى التي لم تُوقَف ووصلت الى بؤرة العدسة ، يركّب فيها اللون الواجب أن ينشأ عن مزيجها تبعاً لهذه القاعدة ، وذلك بدقة تامة أو شديدة القرب من التمام .

القضية السابعة

مبرهنة V

« جميع ألوان الدنيا ، وأقصد الألوان الناتجة من الضوء والتي لا تتعلق أبداً بالقدرة على التخيل ، هي إما ألوان أشعة متجانسة أو مركّبات من هذه الأشعة ، وذلك تبعاً لقاعدة المسألة السابقة ، بدقة تامة أو شبه تامة » .

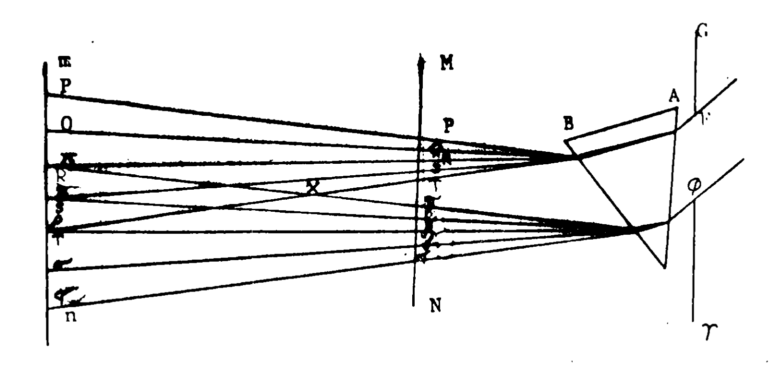
لأننا قد سبق وأثبتنا (في الاقتراح I من الجزء 2) أن تحوّلات الألوان ، الناتجة من الانكســارات ، لا تتعلق بأي تعـديل جـديد في الأشعـة يطرأ عليهـا بسبب هذه الانكسارات ، أو بالطرق المختلفة التي ينتهي بها الضوء والظل ، كما كان يظن جميع الفلاسفة حتى الآن . ولقد أثبتنا أيضاً أن مختلف ألوان الأشعة المتجانسة تستجيب بشكل ثابت لمختلف درجات انكساريتها (اقتراح I ، جزء I ، واقتراح II جزء 2) وان درجات انكساريتها لا تتبدل ، لا بفعل الانكسارات ولا بفعل الانعكاسات (اقتراح II ، جزء 1) ، وان ألوانها بالتالي غير قابلة للتغيير . وأثبتنا أيضاً ، بطريقة مباشرة ، عندما كسرنا وعكسنا أشعة متجانسة وبشكل منفصل ، أن ألوانها لا تتغير (اقتراح II ، جزء 2) . وأثبتنا أيضاً ، حين تمتزج أنواع الأشعة المختلفة وتمر متقاطعة عبر المكـان ذاته ، انها لا تؤثر ، الواحدة منها على الأخرى ، بشكل يغيّر مواصفاتها اللونية (تجربة X ، جزء 2) ، لكنها ، بفعل امتزاج تأثيراتها في مركز احساس العين ، تثير احساساً مختلفاً عمّا ينتجه كل واحد منها على حدة ، أي احساساً بلون متوسـط بين ألوانها الخاصة ، وحين ينتج لون أبيض من إسهام جميع أنواع الأشعة وامتزاجها ، فإن هذا الأبيض هو مزيج من جميع ألوان الأشعة ، كل على حدة (اقتراح V ، جزء 2) . ان الأشعة في هذا المزيج لا تفقد ولا تغيّر أبداً مواصفاتها اللونية : لكن جميع تأثيراتها المختلفة تمتزج في مركز احساس العين ، فتثير الاحساس بلون متوسـط بين جميع ألوانها ، وهذا هو اللون الأبيض . لأن هذا الأخير يحتل وسط جميع الألوان مسهماً في كل منها بشكل متساو، لذا فهو يستقبل بسهولة متساوية صبغة كل من هذه الألوان . لا

يفقد مسحوق احمر لونه في بدء مزجه بقليل من مسحوق أزرق ، كذلك مسحوق أزرق ممزوج بقليل من مسحوق أحمر، لكن اذا مزج مسحوق أبيض بأي لون كان ، فإنه يصطبغ بهذا اللون في البدء ، وله قدرة الاصطباغ بأي لون آخر . ولقد أظهرنا أيضاً أن بياض الشمس مزيج من ألوان جميع أنواع الأشعة ، لأن ضوءها مركّب من جميع هذه الأنواع المذكورة من الأشعة ، ذات المواصفات اللونية والانكساريات المختلفة منذ البدء، والتي تحتفظ بها دائماً غير قابلة للتحول، حتى لو تعرّضت لأي انكسارات أو انعكاسات وفي أي زمن كان. وحين ينفصل نوع من أشعة الشمس عن الأنواع الأخرى، بأي طريقة كان (بفعل الانعكاس في التجربتين التاسعة والعاشرة من الجزء الأول مثلاً ، أو بفعل أي انكسار) فإن أشعة هذا النوع تُظهر حينذاك ألوانها الخاصة . أقول إن جميع هذه الأشياء قد تمّ برهانها ، مما يثبت الاقتراح الواجب برهانه هنا . لأنه اذا كان ضوء الشمس مزيجاً من أنواع مختلفة من الأشعة ، لكل منها في الأصل درجة انكسارية ومواصفات لونية مختلفة ، يحتفظ بها من دون أي تعديل بالرغم من انكساره أو انعكاسه أو انفصاله أو مزجه ، فإن جميع الألوان الموجودة في الطبيعة هي فعلياً كما يجب أن تنتجها بشكل ثابت المواصفات اللونية الأصلية للأشعة التي يتركب منها الضوء الذي يجعل هذه الألوان مرئية . وبالتالي ، اذا تساءلنا عن سبب أي لون ما ، فيجب أن نأخذ بعين الاعتبار كيفية امتزاج اشعة ضوء الشمس وانفصال بعضها عن البعض الآخر ، بفعل الانعكاس أو الانكسار أو أية أسباب أخرى ، أو أن نجد ، بأية طريقة أخرى ، نوعية الأشعة الداخلة في تركيب الضوء المنتج لهذا اللون وبأية نسب ، ثم يجب أن ندرس ، بطريقة المسألة الأخيرة ، ماهية اللون الناتج عن مزيج هذه الأشعة ، أو ألوانها ، وتبعاً للنسب المذكورة ، يبقى أنني لا أتحدث هنا إلّا عن الألوان المتحدرة من الضوء . فمنها ما هو من أصل مختلف ، كما نرى في الأحلام ألواناً بفعل قدرة المخيّلة ، أو كما يرى مجنون أمامه ما هو غير موجود أبداً ، أو حين نضرب على العين ونحن ننظر الى النار ، أو حين نضغط على زاوية احدى عينينا وننظر الى الجهة المقابلة فنرى ألواناً مشابهة للهالات، الشبيهة بالأعين ، والتي تغطي ذَنَب الطاووس . وحيثما لا تؤثر هذه الأسباب الأخيرة أبداً ، فإن اللون يستجيب دائماً لنوع أو لأنواع الأشعة المركبة للضوء ، كما وجدت دائماً في ظواهر الألوان التي استطعت دراستها حتى الآن . وسوف أعطي أمثلة على ما ذكرت ، في الاقتراحات اللاحقة ، شارحاً الظواهر الأكثر لفتاً للأنظار .

القضية الثامنة

مسألة III

« تعليل الألوان الناتجة من المناشير ، بواسـطة خصائص الضـوء المكتشفة سابقاً» .



شكل 12

لنعتبر ABC منشوراً يكسر ضوء الشمس الداخل الى غرفة معتمة من ثقب FΦ بكبر المنشور تقريباً : ولتكن MN ورقة بيضاء يسقط عليها الضوء المكسور : ولنفترض أن الأشعة الأكثر انكسارية ، أو المنتجة للبنفسجي الأقتم ، تقع في المكـان Pπ ، والأشعة الأقل انكسـارية ، أو المنتجـة للأحمر الأقتم ، في المكـان Tτ ، والأشعة الموجودة في وسط الأشعة المنتجة للنيلي والأشعة المنتجة للأزرق ، في المكان Qx ، والنوع المتوسط من الأشعة المنتجة للأخضر في المكان Re ، والأشعة الموجودة في وسط الأشعة المنتجة للأصفر والأشعة المنتجة للبرتقالي في المكان Sσ ، والأشعة المتوسطة الأخرى في الأماكن المتوسطة الأخـرى . فبهذه الطريقـة ، يصبح بعض

الأماكن ، التي تقع عليها كلياً أنواع الأشعة المختلفة ، ادنى من البعض الآخر ، بسبب اختلاف انكسارية مختلف أنواع هذه الأشعة . فإذا كانت الورقة MN قريبة من المنشور لدرجة أن المكانين PT و $\pi\tau$ لا يتداخلان أبداً ، فإن المسافة $T\pi$ ، الموجودة بينهما ، تصبح مضاءة بجميع أنواع الأشعة ، تبعاً لنسبة الواحد منها الى الآخر في لحظة خروجها من المنشور ، وبالتالي بيضاء . أما المكان PT و $\pi\tau$ ، من جهتي المكان $T\pi$ ، فلن يصبحا مضاءين بجميع أنواع الأشعة ، ويبدوان بالتالي ملوّنين . وهكذا في P ، حيث تقع وحدها الأشعة الأكثر خارجية والمنتجة للبنفسجي ، يجب أن يكون اللون بنفسجياً كثير القتم : وفي Q ، حيث تمتزج الأشعة المنتجة للبنفسجي بالتي تنتج النيلي ، يجب أن يكون اللون بنفسجياً مائلاً بشدة الى النيلي : وفي R ، حيث تمتزج الأشعة المنتجة للبنفسجي بالمنتجة للنيلي وبالمنتجة للأزرق وبنصف التي تنتج الأخضر ، فعلى هذه الألوان أن تركّب (المسألة الثانية) لوناً وسطاً بين النيلي والأزرق: وفي S، حيث تمتزج كل الأشعة، باستثناء ما يُنتج الأحمر والبرتقالي، فعلى ألوانها أن تركّب ، بالقاعدة ذاتها ، أزرق باهتاً يميل الى الأخضر أكثر من النيلي : واذا تقدمنا من S الى T ، يصبح هذا الأزرق أضعف فأضعف حتى T ، حيث تبدأ جميع الألوان بالامتزاج ، فيتحّول الى أبيض .

كذلك من الجهة الأخرى من المكان الأبيض ، في τ ، حيث لا توجد إلّا الأشعة الأقل انكسارية أو الأكثر خارجية من الأحمر ، فيجب أن يكون اللون الأحمر الأقتم : وفي σ يجب أن ينتج مزيج الأحمر والبرتقالي لوناً أحمر مائلاً الى البرتقالي: وفي e يجب أن ينتج مزيج الأحمر والبرتقالي والأصفر ونصف الأخضر لوناً وسطاً بين البرتقالي والأصفر : وفي x ، حيث تمتزج جميع الألوان ، باستثناء البنفسجي والنيلي ، يجب أن نحصل على أصفر ـ باهت يميل الى الأخضر أكثر من البرتقالي: ويصبح هذا الأصفر أبهت وأضعف بقدر ما نذهب من x الى π، حيث يصبح أبيض بفعل مزيج جميع أنواع الأشعة . هذه هي الألوان الواجب ظهورها اذا كان ضوء الشمس تام البياض . وبما أنه يميل الى الأصفر ، فإن زيادة الأشعة المنتجة للأصفر، والتي تصبغ هذا اللون ، بمزجها مع الأزرق الباهت الموجود بين S و T ، تجعله يقترب من الأخضر الباهت . وهكذا يجب أن تتكون الألوان بين P و T ، من بنفسجي ونيلي وأزرق وأخضر ضعيف جدا ، وأبيض ، وأصفر باهت، وبرتقالي وأحمر . وهذا ما نتحقق من صحته بواسطة الحسابات ، واذا أراد أحد أن يراقب الألوان الناتجة من المنشور ، فسيجد أن الأشياء تتحقق هكذا في الطبيعة .

هذه هي الألوان التي تظهر من جهتي اللون الأبيض عندما نضع الورقة بين المنشور والنقطة X حيث تتلاقى الألوان ويتلاشى الأبيض بينها . لأننا اذا وضعنا

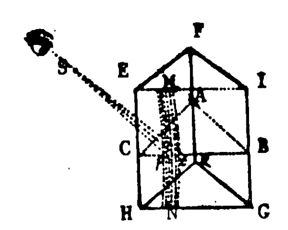
الورقة على مسافة أكبر من المنشور ، فإن الأشعة الأكثر انكسارية والأشعة الأقل انكسارية لن تكونا في وسط الضوء ، فتنتج الأشعة الموجودة فيه ، بامتزاجها ، لوناً أخضر مشحوناً أكثر من السابق . كذلك يصبح الأصفر والأزرق أقل تركيباً وبالتالي أكثر قتماً من السابق، وهذا يتطابق أيضاً مع التجربة .

واذا نظرنا ، من خلال منشور ، الى جسم أبيض محاط بالأسود أو بالعتمة ، فإن واقع الألوان الظاهرة على أطرافه سيكون ذاته تقريباً ، كما يرى ذلك بسهولة من يجهد نفسه بتفحص الأشياء بانتباه . وبالعكس ، في حالة جسم أسود محاط بجسم أبيض ، يجب أن نعزو الألوان الظاهرة ، من خلال المنشور ، الى ضوء الجسم الأبيض والمنتشرة على أجزاء الجسم الأسود المجاورة له ، لذا فهي تظهر بترتيب معاكس للترتيب الذي تظهر به حين يكون الجسم الأبيض محاطاً بالأسود . ويجب أن نقيم الاعتبار ذاته حين ننظر الى جسم تكون بعض أجزائه أقل اضاءة من الأخرى . لأنه يجب على الألوان ، عند تخوم الأجزاء الأكثر اضاءة والأقل اضاءة ، وتبعاً للمبادىء ذاتها ، أن تنجم دائماً عن زيادة الضوء في الأجزاء الأكثر إضاءة وأن تكون من النوعية ذاتها التي تكون عليها في حال كانت الأجزاء الأكثر عتمة سوداء ، مع فارق كونها أضعف وأقل شحناً.

يمكن تطبيق ما قلته ، عن الألوان الناتجة عن المنشور ، بسهولة على الألوان الناتجة عن زجاجات المقرابات أو المجاهير أو رطوبة العين . لأنه اذا كانت زجاجة جسمية المقراب من جهة أسمك من الأخرى ، أو اذا كان نصف الزجاجة أو نصف بؤبؤ العين مغطى بأية مادة كمدة، فإن زجاجة الجسمية أو الجزء غير المغطى من العين أو من الزجاجة ، يمكن اعتباره زاوية منحنية الجوانب ، وكل زاوية من الزجاج أو من أية مادة شفافة أخرى لها أثر المنشور بكسرها الضوء الذي يمر عبرها .

لقد أظهرنا ، في التجربتين التاسعة والعاشرة من الجزء الأول ، كيف تنتج الألوان عن اختلاف انعكاسية الضوء . لكن من الملاحظ في التجربة التاسعة وفي الشكل 21 من هذا الجزء ، ولكون ضوء الشمس المباشر أصفر اللون ، أن زيادة الأشعة المنشئة للأزرق في حزمة الضوء المنعكس MN ، لا تستطيع أن تحوّل هذا الأصفر الّا الى أبيض باهت يميل الى الأزرق ، دون أن تصبغه أبداً بلون أزرق واضح . وللحصول على أزرق أفضل ، استعضت عن لون الشمس الأصفر بلون الغيوم الأبيض ، وبتغيير التجربة قليلاً ، كما سترون في المقطع اللاحق .

التجربة السادسة عشرة :



شكل 13

لنعتبر* HFG منشوراً في الهواء الطلق ، و S عين المشاهد الذي يرى الغيوم بواسطة الضوء الآتي من هذه الأخيرة عبر المنشور من الجهة المستوية FIGK ، والمنعكس في قاعدته HEIG ، والخارج من جهته المستوية HEFK ليدخل الى العين. وعندما نضع المنشور والعين بالوضعية المناسبة بحيث يكون لزاويتي الورود والانعكاس ، المقامتين مع القاعدة ، اربعون درجة تقريباً ، فإن الناظر يرى قوسا MN بلون أزرق ، يمتد من طرف القاعدة الى طرفها الآخر ، وتتجه جهته المقعرة باتجاهه . يبدو الجزء IMNG من القاعدة ، الموجود خلف القوس ، أكثر لمعاناً من الجزء الآخر EMNH الموجود قبله . ويبدو هذا القوس الأزرق ، الناتج من انعكاس سطح مرآوي فقط ، ظاهرة غريبة وصعبة التفسير ، بواسطة فرضية الفلاسفة العادية ، لدرجة أنني أعتقدت بأهمية دراسته . ولكي نفهم أسبابه ، نفترض أن المستوي ABC يقطع عمودياً قاعدة المنشور وجهاته المستوية . ومن العين الى الخط BC ، حيث يقطع هذا المستوي القاعدة، نرسم الخطّين Sp وSt اللذين يقيمان الزاوية SpC وقدرها 50 درجة و1/9، والزاوية StC وقدرها 49 درجة و1/28، فتصبح النقطة p الحدَّ الذي لا يستطيع بعده أي شعاع من الأشعة الأكثر انكسارية أن يعبر قاعدة المنشور وينكسر ، أعني من الأشعة التي يكون ورودها بشكل يسمح لها بالانعكاس باتجاه العين . كذلك في النقطة t حدُّ الأشعة الأقل انكسارية ، أي أنه بعد هذه النقطة لا يستطيع أي شعاع أن يمرّ عبر القاعدة ، أعني من التي يسمح لها ورودها بالوصول الى العين بواسطة الانعكاس . وأخيراً تحدّ النقطة r ، الموجودة في الوسط بين p و t ، الأشعة المتوسطة الانكسارية . وبالتالي فإن الأشعة الأقل انكسارية ، والواقعة على القاعدة خلف t ، أي بين t و B ، والواصلة منها الى العين ، تنكسر عندها كلياً . لكن الكثير من هذه الأشعة يمرّ عبر القاعدة قبل t ، أي بين t و C . ان الأشعة الأكثر انكسارية الواقعة على القاعدة خلف p ، أي بين p و B ، والتي تستطيع الوصول منها الى العين بواسطة الانعكاس ، تنعكس عندها كلياً، لكن الكثير من هذه الأشعة الأكثر انكسارية يمر ، في كل المكان

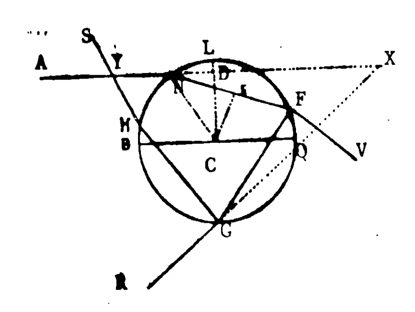
بين p و C ، عبر القاعدة وينكسر، ونعتبر أن ذلك يحدث أيضـاً للأشعة المتـوسطة الانكسارية من جهتي النقطة r . يستتبع ذلك أن على قاعدة المنشور أن تبدو بيضاء ولامعة في كل المكان بين t و B بفضل انعكاس كلّي لجميع أنواع الأشعة باتجاه العين ، وعلى العكس أكثر بهتاً وعتمة في كل المكان بين p و C حيث يحدث انتقال كمية من أشعة كل نوع : لكن في r وفي أماكن أخرى بين p و t ، حيث تنعكس كل الأشعة الأكثر انكسارية باتجاه العين ، والتي يمرّ عبرها العديد من الأشعة الأقل انكسارية ، فإن زيادة الأشعة الأكثر انكسارية في الضوء المعكوس تصبغ هذا الضوء بلون هذه الأشعة ، وهو البنفسجي والأزرق . وهذا ما يحدث في أي مكان من القاعدة طالما أخذنا الخط CprtB بين طرفي المنشور HG و EI .

القضية التاسعة

مسألة IV

« تعليل ألوان قوس القزح بواسطة خاصيّات الضوء المذكورة سابقاً » .

لا يظهر قوس القزح إلّا في الأماكن الممطرة وحيث تلمع الشمس في الوقت ذاته . ونستطيع انشاء أقواس القزح حِرَفياً بدفع الماء في الهواء حيث يتشتّت الى قطرات تسقط على الأرض بشكل المطر . لأن الشمس المنيرة لهذه القطرات تُظهر حتماً قوسَ قزح لأي مشاهد موجود في وضعية جيّدة بالنسبة الى هذا المطر والى الشمس . ومن المعترف به الآن أن قوس القزح ينشأ عن انكسار ضوء الشمس في قطرات المطر . وهذا ما عرفه الأقدمون وما اكتشفه كلّياً وشرحه مؤخراً مطران سبالاتو ، أنطوان دو دومينيس ، المشهور في كتابه : «Radiis Visûs and Lucis» الذي نشره صديقه برتولوس في البندقية عام 1611 ، بينما تم تأليفه قبل ذلك بعشرين عاماً . إنه يظهر ، في هذا الكتاب ، كيف ينشأ قوس القزح الداخلي ، في قطرات المطر الدائرية بفعل انكسارين لضوء الشمس يتخلّلهما انعكاس ، بينما ينشأ قوس القزح الخارجي بفعل انكسارين يتخلّلهما نوعان من الانعكاس ، في كل قطرة مطر . وقد تحقق من شروحاته بإقامة تجاربه بواسطة قارورة مملوءة بالماء مع كريات زجاجية مملوءة بالماء أيضاً ومعرّضة للشمس ، لإظهار ألوان القوسين، الخارجي والداخلي . وقد اتّبع ديكارت هذا الشرح فصحّحه فيما يخص القوس الخارجي . وبما أن هذين العالِمَيْن لم يفهما أبداً الأصل الحقيقي للألوان ، فيصبح من الضروري أن ندرس هذه المادة هنا بدقة أكبر . ولكي نفهم كيفية نشوء قوس القزح ، نعتبر قطرة ماء ، أو أي جسم كروي شفاف آخر ، ممثلة بالكرة* BNFG مرسومة من المركز C بشعاع CN . ولنعتبر AN شعاعاً من أشعة الشمس يقع على هذه الكرة في N ، فينكسر هنا ثم يذهب الى F حيث يخرج من الكرة بفعل الانكسار متجهاً الى V . أو ينعكس في G ، ومن G يذهب بفعل الانكسار الى R أو ينعكس في H ، ثم يخرج بفعل الانكسار الى S ، قاطعاً الشعاع الوارد في Y . ولنمدّد



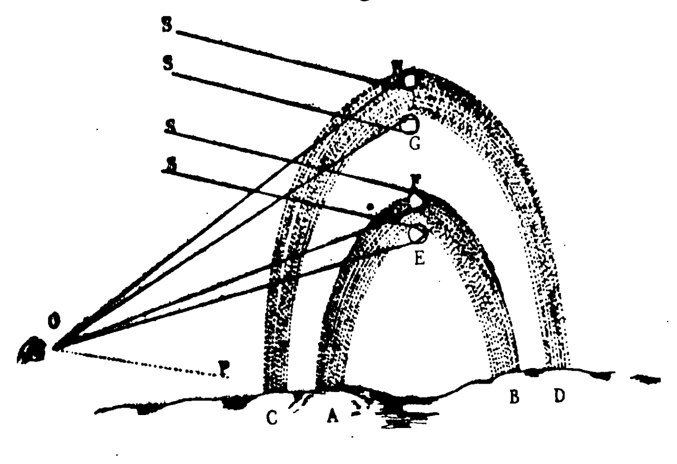
شكل 14

الخطوط AN و RG حتى تتلاقى في X ، ولنسقط على AX و NF الخطّين الرأسيين CD وCE ، ولنمدّد CD حتى يقع على محيط الدائرة في L . ولنرسم القطر BQ الموازي للشعاع الوارد AN ، ولتكن نسبة جيب الورود الى جيب الانكسار من الهواء في الماء ، كنسبة I الى R . اذا افترضنا الآن أن نقطة الورود N تتحرك ، من دون انقطاع ، من النقطة B حتى نصل الى L ، فإن القوس QF يكبر في البدء ثم ينقص لاحقاً ، كذلك تفعل الزاوية AXR التي يقيمها الشعاعان AN و GR : ويصبح القوس QF والزاوية AXR أكبر ما يمكن حين يصبح ND الى CN بنسبة $\sqrt{II-RR}$ الى $\sqrt{3}RR$ ، فيصبح حينئذ NE الى ND بنسبة 2R الى I : كذلك فإن الزاوية AYS التي يقيمها الشعاعان AN و HS ، تنقص في البدء ثم تكبر لاحقاً ، وتصبح أقل ما يمكن حين يصبح ND الى CN بنسبة $\sqrt{II-RR}$ الى $\sqrt{8}RR$ ، ويصبح NE في هذه الحالة الى ND بنسبة 3R الى I . كذلك في الحالة التالية (أي عندما يخرج الشعاع بعد انعكاسات ثلاثة) تصل الزاوية التي يقيمها الشعاع الخارج مع الوارد AN الى حدها حين يصبح ND الى CN بنسبة $\sqrt{II-RR}$ الى $\sqrt{15}RR$ ، وهنا يصبح NE الى ND بنسبة 4R الى I . وتصل الزاوية التي يقيمها الشعاع الخارج ، الذي يأتي مباشرة بعد هذا الأخير (أي الشعاع الخارج بعد أربعة انعكاسات) ، مع الشعاع الوارد AN ، الى حدّها حين يصبح ND الى NC بنسبة $\sqrt{II-RR}$ الى $\sqrt{24}RR$ ، وهنا يصبح NE الى ND بنسبة 5R الى I ، وتتواصل قاعدة هذه الحدود الى اللانهاية ، مستنتجين الأعداد 3 ,8 ,24,15 .. الخ . من اضافة حدود المتوالية الحسابية 3 ,5 ,7 ,9 .. الخ ، بشكل متواصل ويسهل على الرياضيين التحقق من صحة كل ذلك .

كما أن النُهُر لا تزيد ولا تنقص ، الاّ قليلاً جداً خلال فترة زمنية طويلة ، عند وصول الشمس الى مدار الاستواء ، كذلك تصل هذه الزوايا الى حدها ، عند زيادة المسافة CD ، ولا تتغير كميتها الاّ قليلاً جداً خلال زمن معين . لذا يخرج من الأشعة الواقعة على جميع النقاط N من ربع الدائرة BL ، عدد منها في حدود هذه الزوايا ، أكبر بكثير ممّا يخرج في أي انحناء آخر . ويجب أيضاً أن نلاحظ أن للأشعة التي تختلف

درجة انكساريتها زوايا خروج مختلفة الحدود ، فهي بالتالي تخرج بغزارة أكبر في زوايا مختلفة ، تبعاً لدرجات انكساريتها ، ويبدو كل شعاع منها بلونه الخاص بسبب انفصال الواحد منها عن الآخر .

ونستطيع أن نستنتج ماهية هذه الزوايا من المبرهنة السابقة ، بواسطة حساب بسيط جداً . لأن الجيبين ، I و R ، في حالة الأشعة الأقل انكسارية ، هما 108 و 81 ، كما رأينا أعلاه ، فيظهر من الحساب أن أكبر زاوية AXR هي بقدر 42 درجة ودقيقتين ، وأن أصغر زاوية AYS هي بقدر 50 درجة و 57 دقيقة . أما في الأشعة الأكثر انكسارية فالجيبان I و R هما 109 و 81 ، فيظهر من الحساب أن أكبر زاوية AXR هي 40 درجة و 17 دقيقة والأصغر 54 درجة و 7 دقائق .



شكل 15

ولنفترض الآن أن O هي عين المشاهد، وأن OP خط موازٍ لأشعة الشمس. ولنعتبر POE وPOF وPOG وPOH زوايا تساوي بالتقابل 40° و17′، و42° و2′، و50° و57′، و54° و7′. فإذا أدرنا هذه الزوايا حول جهتها المشتركة OP، فإن جهاتها OE وOF وOG وOH ترسم حدود قوسي القزح AFBE وCDHG. فإذا كانت E وF وG وH قطرات، موجودة في أي مكان من السطوح المخروطية التي ترسمها OE وOF وOG وOH، وتضيئها أشعة الشمس SE وSF وSG وSH، فإن الزاوية SEO، المساوية للزاوية POE، وهي بقدر 40° و17′، تصبح أكبر زاوية يمكن أن يقيمها الخط SE مع الأشعة الأكثر انكسارية المكسورة باتجاه العين بعد انعكاس واحد. وبالتالي فإن جميع القطرات الموجودة على الخط OE ترسل الى العين، بأكبر غزارة ممكنة، الأشعة الأكثر انكسارية، مثيرة احساساً باللون البنفسجي الأقتم باتجاه منطقة وجودها. كذلك تصبح الزاوية SFO، التي تساوي الزاوية POF، وهي 42° و2′، أكبر زاوية تخرج بها الأشعة الأقل انكسارية من القطرات

المذكورة بعد انعكاس واحد، فتصل هذه الأشعة بالتالي الى العين بأكبر كمية ممكنة، من القطرات الموجودة على الخط OF، وتثير احساساً باللون الأحمر الأقتم في هذا المكان. وللسبب ذاته، تصل الأشعة المتوسطة الانكسارية، بأكبر غزارة ممكنة من القطرات بين E وF لتثير في العين احساساً بألوان متوسطة، بالترتيب الذي تفرضه درجات انكساريتها، أي البنفسجي والنيلي والأزرق ولأخضر والأصفر والبرتقالي والأحمر، في حال تقدّمنا من E إلى F، أو من جهة القوس AFBE الداخلية الى جهته الخارجية. لكن البنفسجي يظهر، بامتزاجه بضوء الغيوم الأبيض، ضعيفاً يميل الى الأرجواني.

وبما أن الزاوية SGO تساوي الزاوية POG، وهي 50° و57′، فإنها تصبح أصغر زاوية تستطيع أن تخرج بها الأشعة الأقل انكسارية من القطرات بعد انعكاسين، فتصل بالتالي هذه الأشعة الى العين، بأكبر كمية ممكنة، من القطرات الموجودة على الخط OG، فتثير باتجاه منطقة وجودها احساساً بالأحمر الأقتم. وتساوي الزاوية SHO الزاوية POH وهي 54° و7′، فتصبح أصغر زاوية تستطيع أن تخرج بها الأشعة الأكثر انكسارية من القطرات بعد انعكاسين، فتصل بالتالي هذه الأشعة الى العين، بأكبر كمية ممكنة، من القطرات الموجودة على الخط OH، مثيرة احساساً بالبنفسجي الأقتم باتجاه منطقة وجودها. وأخيراً، وللسبب ذاته، تثير القطرات، الموجودة بين G وH، احساساً بالألوان المتوسطة تبعاً للترتيب الذي تفرضه درجات انكساريتها، أي أن هذه الألوان تظهر عند تقدمنا من G إلى H، أو من جهة قوس القزح CHDG الداخلية الى جهته الخارجية، بهذا الترتيب: الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، البنفسجي. وبما أن هذه الخطوط الأربعة OE وOF وOG وOH تستطيع أن تكون في أي مكان من السطح المخروطي المذكور أعلاه، ومن دون تمييز، فإن ما قلناه عن القطرات والألوان الموجودة على هذه الخطوط يجب تطبيقه على القطرات والألوان الموجودة في أي مكان آخر من هذه السطوح.

فهكذا ينشأ قوسان ملوّنان، واحد داخلي مركّب من ألوان أكثر زهواً، بفعل انعكاس واحد في القطرات، والآخر خارجي مركّب من ألوان أضعف، بفعل انعكاسين، لأن الضوء يضعف عند كل انعكاس. وتكون ألوان هذين القوسين بترتيب المكان GF الموجود بينهما. ويكون عرض القوس الداخلي، EOF، 1° و45′، مقيساً عبر الألوان، أما عرض القوس الخارجي، GOH، فهو 3° و10′: والمسافة GOF بين القوسين 8° و55′، ويكون نصف القطر الأكبر من القوس الداخلي، أي الزاوية POF، 42° و2′، وأصغر نصف قطر POG، من القوس الخارجي، 50° و57′، هذه هي قياسات هذين القوسين، لو كانت الشمس نقطة فقط، ولكن بسبب كبر كرتها، فإن عرض القوسين يكبر، وتنقص مسافتهما نصف درجة. وهكذا يصبح عرض قوس القزح الداخلي 2° و15′ والخارجي 3° و40′، ومسافتهما 8° و25′، وأكبر نصف قطر من القوس الداخلي 42° و17′، والأصغر

من القوس الخارجي 50° و42′. هذه تقريباً هي الأبعاد الفعلية لأقواس القزح في السماء، عندما تكون ألوانها الأزهي والأفضل تحديداً. لأنني عندما قست مرة قوس قزح بواسطة الأجهزة المتوفرة لدي، وجدت أكبر نصف قطر من القوس الداخلي 42° درجة تقريباً، وعرض الأحمر والأصفر والأخضر، من هذا القوس، 63 أو 64 دقيقة تقريباً، عدا ثلاث أو أربع دقائق يمكن اضافتها باعتبار أن اللون الأحمر الخارجي قد أضعفه وعتّمه وهج الغيوم المحيطة. أما عرض الأزرق فكان تقريباً 40 دقيقة وأكثر، من دون أن أحسب البنفسجي الذي عتّمه بشدة وهج الغيوم لدرجة استحال عليّ قياس عرضه. وعلى افتراض أن عرض الأزرق والبنفسجي معاً يساوي عرض الأحمر والأصفر والأخضر معاً، فإن كل عرض هذا القوس الداخلي يكون 2° و1′، كما في السابق. كانت أصغر مسافة بين هذا القوس والقوس الخارجي 8 درجات و30 دقيقة تقريباً. وكان القوس الخارجي أعرض من الداخلي، لكن صبغته كانت ضعيفة، خصوصاً من الجهة الزرقاء، لدرجة أنني لم أستطع قياس العرض بوضوح. وفي مرة أخرى بدا القوسان بشكل أوضح، فوجدت عرض القوس الداخلي 2° و10′، وأن نسبة عرض الأحمر والأصفر والأخضر الى عرض الألوان ذاتها من القوس الداخلي، هي كنسبة 3 إلى 2.

تثبت التجربة المعروفة ، التي اقامها انطوان دو دومينيس وديكارت ، تفسير قوس القزح هذا. ترتكز هذه التجربة على تعليق كرة زجاجية مملوءة بالماء في أي مكان تتعرض فيه للشمس ، ثم النظر اليها بحيث تستطيع الأشعة ، الواصلة من الكرة الى العين ، أن تقيم مع أشعة الشمس زاوية 42 أو 50 درجة . لأنه اذا كانت الزاوية 42 أو 43 درجة تقريباً ، فإن الناظر (المفترض في O) يرى لوناً أحمر شديد الزهو على جهة الكرة المواجهة للشمس ، كما يتمثل هذا في F ، أما اذا أصبحت هذه الزاوية أصغر (بافتراض أننا أنزلنا الكرة حتى E) فإن ألواناً أخرى ستظهر بالتعاقب على الجهة ذاتها من الكرة ، الأصفر والأخضر والأزرق . أما اذا كانت الزاوية 50 درجة تقريباً (بافتراض رفع الكرة حتى G) فإن لوناً أحمر سيظهر على جهة الكرة المواجهة للشمس ، واذا جعلنا الزاوية أكبر أيضاً (بافتراض رفع الكرة حتى H) سيتحوّل الأحمر تعاقبياً الى ألوان أخرى ، الأصفر والأخضر والأزرق . لقد حصلت على الشيء ذاته من دون تغيير مكان الكرة ، برفع العين وخفضها ، أو بتحريكها بشكل آخر لكي أعطي للزاوية الكبر المناسب .

لقد أكّد لي بعضهم أنه اذا كسر منشور ضوء شمعة باتجاه العين ، فإن الناظر يرى اللون الأحمر في المنشور في حين يصل اللون الأزرق الى عينه ، وحين يصل الأحمر الى عينه فإنه يرى لوناً أزرق في المنشور . لو كان هذا صحيحاً لكان على ألوان الكرة الزجاجية وقوس القزح أن تظهر بترتيب معاكس تماماً للذي نراه . لكن ألوان الشمعة كانت ضعيفة جداً ، فجاء الخطأ ، على ما يظهر ، من صعوبة تمييز ماهية

الألوان الواصلة الى العين . لأنه على العكس ، عند النظر الى ضوء الشمس المكسور بواسطة منشور ، كنت ألاحظ غالباً أن الناظر يرى في المنشور دائماً اللون الذي يصل الى العين . ولقد تثبَّتُّ من الشيء ذاته في حالة ضوء الشمعة : لأننا اذا حرفنا المنشور ببطء عن الخط الذاهب من الشمعة الى العين مباشرة ، فإننا نرى أولاً الأحمر في المنشور ثم الأزرق ، وبالتالي فإننا نرى كلاً من هذين اللونين حين وقوعه على العين ، لأن الأحمر يمرّ على العين أولاً ثم يأتي الأزرق .

ويجب على الضوء الواصل من خلال قطرات المطر ، بعد انكسارين ، ومن دون أي انعكاس ، أن يبدو بأقصى قوته ، على مسافة 26 درجة من الشمس تقريباً ، ثم يضعف تدريجاً من الجهتين ، بقدر ما تكبر هذه المسافة أو تضعف . كذلك يحدث للضوء الذي يمرّ عبر حبّ البَرَد الكروي . لكن اذا كان حبّ البرد هذا مسطحاً ، كما هو عادة ، يصبح الضوء المارّ عبره قوياً ، على مسافة أقل من 26 درجة بقليل ، لدرجة أنه ينشىء هالة أو تاجاً حول الشمس أو القمر . وتستطيع هذه الهالة أن تكون ملوّنة خلال كل فترة تشكيل حب البرد ، فتكون حمراء من الداخل بفعل الأشعة الأقل انكسارية ، وزرقاء من الخارج بفعل الأشعة الأكثر انكسارية ، خاصة اذا وجد ، في وسط حب البرد ، كريات كمدة من الثلج تحجب الضوء داخل الهالة (كما لاحظ هيغنز) ، ممّا يحدد هذا الأخير بشكل أوضح ممّا يحصل من دونها.. ومع أن هذا النوع من حب البرد كروي، فإنه، بتحديده الضوء بثلج محصور في وسط هذا الحب، ينشىء هالة حمراء من الداخل، لا لون لها من الخارج، وأكثرً عتمة في جزئها الأحمر عما هي عليه في الخارج، كما تكون الهالات العادية المعروفة. لأن بين الأشعة التي تمر قريباً جداً من الثلج، تكون الحمراء أقلها انكساراً فتأتي بالتالي الى العين على الخطوط الأكثر مباشرة.

ليس للضوء الذي يمرّ عبر قطرة مطر بعد انكسارين وثلاثة أو أربعة انعكاسات ، القوة الكافية لإنتاج قوس محسوس ، لكنه يستطيع أن يبقى في الاسطوانات الجليدية التي فسّر لنا هيغنز بواسطتها ظاهرة الشميسات .

القضية العاشرة

مسألة ٧

« كيف نفسّر ألوان الأجسام الطبيعية الثابتة ، بواسطة خاصيّات الضوء المكتشفة حتى الآن » .

تنتج هذه الألوان من كون بعض الأجسام الطبيعية يعكس بعض أنواع الأشعة ، بينما يعكس بعضها الآخر أنواعاً أخرى منها ، بغزارة أكبر ممّا يعكس غيرها . يعكس معدن الرصاص الأحمر ، بغزارة أكبر ، الأشعة الأقل انكسارية ، أو المنتجة للون الأحمر ، فيبدو بذلك أحمر اللون . ويعكس زهر البنفسج ، بغزارة أكبر ، الأشعة الأكثر انكسارية ، ممّا يسبب لونه المعروف، لأن كل جسم يعكس أشعة لونه الخاص بكمية أكبر ممّا يعكس أشعة أي نوع آخر ، فإنه يأخذ لونه من زيادة هذه الأشعة وسيطرتها على الأشعة المعكوسة .

التجربة السابعة عشرة :

اذا وضعنا أجساماً ، ذات ألوان مختلفة ، في أضواء متجانسة ناتجة من حلّ المسألة المطروحة في الاقتراح الرابع من الجزء الأول ، نجد أن كل جسم يبدو ألمع وأكثر اضاءة في ضوء لونه الخاص، فيبدو كبريتوز الزئبق أكثر وهجاً ، عند وضعه في أشعة حمراء متجانسة . واذا وضع في ضوء أخضر فإنه يبدو أقل لمعاناً ، وأقلّ من ذلك بكثير اذا وضع في ضوء أزرق . تبدو النيلة أكثر وهجاً في ضوء بنفسجي أزرق ، ويضعف وهجها تدريجاً بقدر ما نبعد الضوء عن هذا الأخير بتمريره من الأخضر الى الأصفر الى الأحمر. يبدأ الكرّاث Leek بعكس الأخضر، ثم الأزرق والأصفر اللذين يركّبان الأخضر، بأزهى ممّا يعكس الألوان الأخرى كالأحمر والبنفسجي. كذلك أيضاً بالنسبة لبقية الأجسام. ولكن حتى تكون هذه التجارب أكثر حساسية، يجب اختيار الأجسام ذات الألوان الأقوى والأزهى، ومقارنة جسمين منهما من لونين

مختلفين. فهكذا مثـلاً، إذا عرّضنـا معاً كبـريتوز الـزئبق Cinnabar of Vermilion، واللازورد أو أي جسم أزرق آخر، لضوء أحمر متجانس، فإن الجسمـين المذكـورين يبدوان أحمرين، لكن الكبريتوز يبدو بلون أحمر شديد الاضاءة والـوهج بينمـا يبدو اللازورد بلون أحمر ضعيف ومعتم جداً. أمـا إذا عرّضنـاهما لضـوء أزرق متجانس فيبدوان أزرقين، لكن اللازورد يبدو أزرق شديد الاضاءة والوهـج بعكس الكبريتـوز الذي يبدو بلون أزرق ضعيف ومعتم. وهذا يُظهر بداهة كون كبريتوز الـزئبق يعكس الضـوء الأحمر بغـزارة أكثر بكثـير مما يعكسـه اللازورد، وأن هـذا الأخـير يعكس الضوء الأزرق بغزارة أكثر بكثير ممّا يعكسه كبريتوز الزئبق. وتنجـح التجربـة ذاتها مع معدن الرصاص الأحمر، والنيلة أو مع جسمين آخرين من أي لون كـان، آخذين بعين الاعتبار تعويض زهو أو ضعف لونيهما.

تظهر هذه التجارب سبب ألوان الأجسام الطبيعية : ويثبت الشيء نفسه ، بشكل لا يقبل الاعتراض ، في تجربتي الجزء الأول ، حيث تمّ البرهان ، في حالة الأجسام الطبيعيـة ، « على أن الأشعـة التي تختلف بـألوانهـا ، تختلف أيضـاً بـدرجـات انكساريتها » . لأن ذلك يستتبع بشكل أكيـد أن بعض الأجسام تعكس بغـزارة أكبر الأشعة الأكثر انكسارية ، بينما تعكس أجسام أخرى الأشعة الأقل انكسارية .

ونستطيع أن نثبت بأن ما ذكر هنا ، ليس سبب هذه الألوان الحقيقي فحسب ، بل هو سببها الوحيد أيضاً ، باعتبار أن لون ضوء متجانس لا يمكنه أن يتغير بفعل عكس الأجسام الطبيعية له . لأن الأجسام لا تستطيع أبداً أن تغيّر ، بفعل عكسها الضوء ، لون أي نوع من الأشعة ، لذا فلا يمكنها أن تظهر ملوّنة بأي واسطة غير عكسها الأشعة من لونها الخاص أو أشعة يكوّن مزيجُها هذا اللون .

ويجب التيقن ، عند إقامة هذا النوع من التجارب ، من أن الضـوء على درجة كافية من التجانس . لأنه اذا أضيئت الأجسام بالألوان التي ينتجها المنشور عادة ، فإنها لن تظهر باللون الذي تأخذه في وضح النهار ، ولا بلون الضوء الواقع عليها ، بل لون متوسط بين هذين اللونين ، كما وجدت في التجربة . فمعدن الرصـاص الأحمر مثلاً ، عند اضاءته بالأحمر الذي ينتجه المنشور عادة ، لن يظهر أحمر ولا أخضر بل برتقالياً أو أصفر أو بلون بين الأحمر والأخضر ، تبعاً لكثرة أو قلة تركيب الضوء الذي ينيره . إن معدن الرصاص الأحمر يظهر أحمر عندما نضيئه بضوء أبيض تتمازج فيه جميع أنواع الأشعة بالتساوي ، بينما لا تتمازج جميع أنواع الأشعة بـالتساوي في اللون الأخضر، فإن زيادة الأشعة الصفراء والأشعة الخضراء والأشعة الزرقاء ، في هذا الضوء الأخضر الواقع على معدن الرصاص الأحمر ، يجعل غزارة هذه الأشعة ، في الضوء المنعكس على المعدن المذكور ، كبيرة لدرجة تظهر لون المعدن الأحمر بلون يقارب لونها . ومن جهة أخرى فإن معدن الرصاص الأحمر يعكس الأشعـة الحمراء

بغزارة أكبر نسبة لعددها ، ثم الأشعة المنتجة للبرتقالي والمنتجة للأصفر ، لذا فإن هذه الأشعة تكون في الضوء المنعكس بعدد أكبر ، نسبة الى الضوء كله ، ممّا كانت عليه في الضوء الأخضر الوارد ، ممّا يجعل بالتالي الضوء المنعكس يمرّ من الأخضر الى لون يقارب لونها : بحيث لا يظهر معدن الرصاص الأحمر لا أحمر ولا أخضر ، بل بلون بين الأحمر والأخضر .

أما بالنسبة للسوائل الملوّنة الشفافة ، فيجب أن نلاحظ أن لونها يتغيّر مع تغيّر سمكها . فهكذا مثلاً ، إن سائلاً أحمر في كأس مخروطية الشكل ، موضوعة بين الضوء والعين ، يبدو في قعر الكأس حيث يقل سمكه ، بلون أصفر باهت ، أما أعلى بقليل ، حيث يكبر سمكه ، فإنه يأخذ لوناً برتقالياً ، وحيث يكون سمكه أكبر أيضاً يصبح أحمر اللون ، ويصبح هذا الأخير أقتم وأعتم عندما يصبح سمكه الأكبر . لأنه علينا أن نعتبر أن هذا السائل يوقف بسهولة الأشعة المنتجة للنيلي والبنفسجي ، وبصعوبة الأشعة المنتجة للأخضر ، وبصعوبة أكبر الأشعة المنتجة للأحمر ، وأنه اذا كان سمك هذا السائل فقط في النقطة اللازمة لتستطيع ايقاف عدد كاف من الأشعة المنتجة للبنفسجي والنيلي من دون أن تقلّل كثيراً عدد الأشعة الأخرى ، فإن على الباقي أن يركّب لوناً اصفر باهتاً ، تبعاً للاقتراح السادس من الجزء الثاني . واذا كان السائل سميكاً لدرجة ايقاف عدد كبير من الأشعة الزرقاء أيضاً ولبعض ممّا ينتج الأخضر ، فعلى الباقي أن يركّب لوناً برتقالياً ، أما حيث يصبح سميكاً لدرجة أنه يوقف أيضاً عدداً كبيراً من الأشعة الخضراء وعدداً مهماً من الأصفر ، فعلى الباقي أن يبدأ بتركيب الأحمر ، وعلى هذا الأخير أن يصبح أكثر قتماً وعتمة بقدر ما يوقف السائل ، الزائد السمك وبنسبة سمكه ، الأشعة الصفراء والبرتقالية، بحيث لا يستطيع الاّ قليل من الأشعة أن يعبره ، باستثناء الأشعة الحمراء . ولقد اطلعني الدكتور هالي ، منذ فترة وجيزة ، على تجربة من هذا النوع : لقد غطس الدكتور هالي في البحر داخل وعاء مخصّص لهذا الاستعمال ، ذات يوم مشمس بشدة ، فوجد بعد أن نزل الى عمق بضعة أذرع في الماء ، أن الجزء الأعلى من يده ، الذي تنيره الشمس مباشرة من خلال الماء ومن نافذة زجاجية صغيرة يدخل الضوء منها الى الوعاء ، كان يبدو بلون أحمر مشابه للون الورد الدمشقي ، أما الماء الذي كان تحته والجزء الأسفل من اليد المضاء بالضوء المنعكس عن هذا الماء فكانا يبدوان أخضرين . نستنتج من هذا أن ماء البحر يعكس بسهولة كبيرة الأشعة البنفسجية والزرقاء لكنه يترك الحمراء تمرّ بحرّية وغزارة كبيرة حتى عمق كبير جداً . لذا يسيطر اللون الأحمر على أعماق الماء الكبيرة حيث يبدو ضوء الشمس المباشر أحمر ، وبقدر ما يكبر العمق يصبح هذا الأحمر أكثر كمالاً وقتماً . وفي الأعماق التي لا تستطيع الأشعة البنفسجية اختراقها ، فإن الأشعة الزرقاء والخضراء والصفراء ، المنعكسة من تحت بغزارة أكبر من الحمراء ، تركّب اللون الأخضر .

لنأخذ سائلين بلونين محدّدين جيداً ، الواحد مثلاً أحمر والآخر أزرق ، وكان سمكهما بالقدر اللازم لكي يصبح لوناهما قاتمين بشكل كاف . فمع كون كل منهما ، على حدة ، شفافاً لدرجة معينة ، إلّا أننا لا نستطيع الرؤية من خلالهما عندما يكونان ممزوجين . لأنه اذا لم تمرّ من خلال أحد السائلين إلّا أشعة حمراء ، ومن خلال الآخر إلّا أشعة زرقاء ، فلن يمرّ أي من الاشعتين من خلال المزيج . وهذا ما برهنه هوك صدفة بواسطة زاويتين زجاجيتين مملوءتين بسائلين ، الواحد أحمر والآخر أزرق . وقد دهشته هذه الظاهرة التي لم يكن يتوقّعها لأن تعليلها لم يكن معروفاً في ذلك الحين : لذا فإن التجربة السابقة تجعلني أكثر ثقة بهذه التجربة علماً بأنني لم أنفّذها شخصياً . لكن من يريد اعادتها ، عليه أن يستخدم سوائل ذات ألوان قوية مشحونة .

وبما أن الأجسام تصبح ملوّنة بعكسها أو بسماحها لهذا النوع من الأشعة أو ذاك بالمرور ، بغزارة أكبر من الباقي ، فيجب علينا أن نتخيّل أنها توقف وتطفىء الأشعة التي لا تعكسها أبداً ولا تسمح لها بالمرور . لأننا اذا أمسكنا بوريقات ذهبية ، ووضعناها بين الشمس والعين ، فإن الضوء يبدو أزرق مخضراً ، لذا فإن الذهب المُصمَت يسمح للأشعة المنتجة للأزرق بالمرور في جسمه لتنعكس هنا وهناك حتى تُصدّ وتنطفىء ، بينما يعكس الأشعة الصفراء الى الخارج فيبدو أصفر اللون . وكما أن الورقة الذهبية تبدو صفراء بسبب الضوء المنعكس وزرقاء بسبب الضوء العابر لها ، وكما يكون الذهب المصمت أصفر في أية وضعية للعين، كذلك يسمح بعض السوائل وبعض أنواع الزجاج بمرور نوع من الأشعة بغزارة أكبر ويعكس نوعاً آخر، فيبدو بالتالي بألوان مختلفة تبعاً لمختلف وضعيات العين بالنسبة الى الضوء . ولكن اذا كانت هذه السوائل سميكة، أو الزجاج غليظاً، لدرجة استحالة مرور أي ضوء عبرها، فإنني لا أشك أبداً (مع أنني لم أقم التجربة بعد) في أن هذه السوائل والزجاجات ستبدو ، مثل أي جسم كمد آخر ، بلون واحد ذاته ، في جميع وضعيّات العين . لأنه ، وبقدر ما استطعت أن احكم بملاحظاتي الخاصة ، باستطاعتنا الرؤية من خلال جميع الأجسام الملوّنة اذا جعلناها كافية الرقة فهي بالتالي جميعها شفافة الى حدّ ما ، ولا تختلف شفافيتها الّا القليل أو الكثير عن شفافية السوائل الشفّافة الملوّنة ، لأن سمكاً كافياً يجعل هذه الأخيرة كمدة تماماً كهذه الأجسام . ويمكن لجسم شفاف ، يظهره الضوء العابر له بلون معيّن ، أن يبدو بذات اللون بواسطة الضوء المنعكس ، اذا عكس ضوء هذا اللون آخر سطح للجسم ، أو عكسه الهواء الموجود خلفه . لكن اللون المنعكس ينقص ، ويمكنه أن يتلاشى تماماً ، اذا زدنا سمك الجسم كثيراً وطليناه من الخلف بالقطران لإنقاص عكس سطحه الأخير ، بحيث يتغلب الضوء المنعكس بواسطة جسيمات الجسم ذاته الملوّنة . ويختلف لون الضوء المنعكس ، في معظم هذه الحالات ، عن لون الضوء العابر . ولكن ما هو سبب عكس السوائل ، أو الأجسام

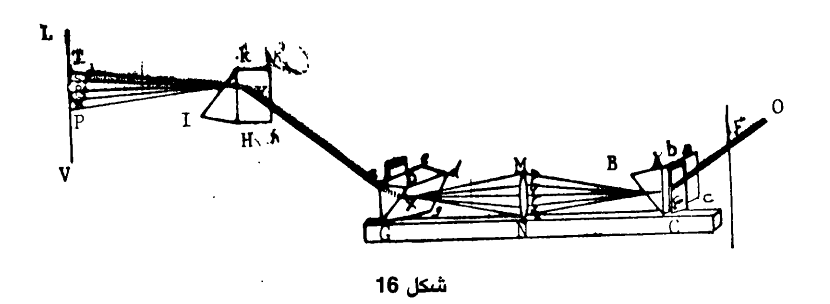
المصبوغة بأي لون كان ، بعض أنواع الأشعة ، بينما تقبل أو تسمح لبعضها الآخر بالمرور ؟ هذا ما سأشرحه في الكتاب اللاحق . ويكفي أنني برهنت في هذا الاقتراح ، بما لا يقبل الاعتراض ، أن للأجسام فعلياً هذه الخاصيات ، وعلى هذا الأساس تبدو ملوّنة .

https://archive.org/details/@hassan_ibrahem

القضية الحادية عشرة

مسألة VI

« كيف نركّب ، من مزيج أشعة ملوّنة ، حزمة ضوء بلون حزمة من ضوء الشمس المباشر وطبيعته ، ثم نثبت عليها صحة الاقتراحات السابقة » .



شكل 16

لنعتبر* ABC abc منشوراً يكسر ضوء الشمس ، الداخل الى غرفة معتمة من خلال ثقب F ، باتجاه العدسة MN ويرسم عليها في p و q و r و s و t الألوان العادية ، البنفسجي والأزرق والأخضر والأصفر والأحمر . ولتتجمع هذه الأشعة المتباعدة ، في X مجدداً ، بفعل الانكسار في هذه العدسة ، لتركّب لوناً أبيض بمزيج جميع ألوانها بالطريقة المذكورة سابقاً . ثم لنعتبر DEG deg منشوراً آخر موازياً للسابق وموضوعاً في X ليكسر هذا الضوء الأبيض الى الأعلى باتجاه Y ولنعتبر زاويتي المنشور الكاسرتين متساويتين ، وعلى المسافة ذاتها من العدسة ، بحيث أن الأشعة التي ، من دون انكسار جديد ، تتجمع في X وتتقاطع لتعود فتتباعد ، تستطيع الآن ، وبفعل الانكسار في المنشور الثانى ، أن تصبح متوازية غير متباعدة . لأن هذه الأشعة سوف تؤلف أيضاً حزمة من الضوء الأبيض. وإذا كانت زاوية أحد المنشورين الكاسرة أكبر من الزاوية الكاسرة في الآخر، فعلى هذا المنشور الثاني أن يكون أقرب

إلى العـدسة. ونستطيـع أن نعرف الـوضعية الصحيحـة للمنشـورين بـالنسبـة الى العدسة، بملاحظة ما إذا كانت حزمة الضوء XY الخارجة من المنشور الثـاني، تامّة البيـاض حتى في أطرافهـا، وإذا بقيت، على أيـة مسافـة من المنشور، تكـون تـامّة البياض كلّياً مثل الحزمة الضوئية الآتية مبـاشرة من الشمس. ويجب تغيير وضعيـة المنشورين بالنسبة إلى العدسـة وتصحيحها حتى يتم لنـا ما ذكـرنا. ونستطيـع بعد ذلك أن نثبّت المنشورين والعدسة في هذه الوضعية، بواسطة عزقـة أو أنبوب أو أي جهاز آخر مناسب، ثم نقيم على هذه الحزمة الضوئية XY جميع التجارب التي أقيمت سابقاً على ضوء الشمس المباشر، لأن لهذه الحزمة المركّبة جميع خصائص ومظـاهر حزمة ضوء الشم المباشر، وذلك بقدر ما استطعت الحكم من خلال ملاحظاتي. لكننـا نستطيـع أن نرى، عنـدما نقيم تجـارب على الجـزمة المـذكورة وعنـدمـا نحجب عن العـدسة أحـد الألوان، t, s, r, q, p كيف أن الألـوان الناتجـة من هـذا النـوع من التجارب ليست إلاّ الألوان التي كانت للأشعة عند العـدسة، وذلـك قبل أن تتجمّـع لتركّب هذه الحزمة، فهي بالتالي لا تأتي وليدة أي تعديل في الضوء ناجم عن انكسار أو انعكـاس، بل من مختلف انفصـالات وامتزاجـات الأشعة صـاحبة المـواصفـات اللونية أصلاً.

فهكذا مثلاً، وبعد أن أنشأت مثـل هذه الحـزمة الضـوئية المـركبة، بـواسطة عدسة، بكبر 4 بوصات و1/4 البوصة، ومنشورين موضوعين من الجهتين عـلى بعد 6 أقدام و1/4 القدم من العدسة، حاولت معرفة سبب الألوان الناتجة من المنشور ، فبدأت بكسر هذه الحزمة من الضوء المركب XY بمنشـور آخر HIKkh ، ثم أسقـطت بهذه الطريقـة الألوان المنشوريـة T, S, R, Q, P على الورقة LV المـوضوعـة خلف هـذا المنشور . ثم حجبت عن العدسة أحد الألوان t, s, r, q, p فوجدت أن هذا اللون بالذات اختفى عن الورقة LV . فهكذا ، اذا حُجب الأرجواني p عن العدسة : فإن الارجواني P على الورقة يختفي للحال ، بينما تبقى الألوان الأخرى ذاتها دون أقل تعديل ، باستثناء الأزرق ، على ما أعتقد ، الذي يمكنه أن يتغيّر بفعل انفصال قليل عن الأرجواني الذي كان مختبئاً في مادته عند العدسة ثم انفصل عنه بفعل الانكسارات اللاحقـة. كذلـك اذا حجبت الأخضر r عن العدسة ، فإن الأخضر R يختفي عن الورقة ، وهكذا دواليك : وهذا يظهر بالتأكيد أنه ، كما تتركّب حزمة الضوء الأبيض XY من أضواء مختلفة متنوعة الألوان على العدسة ، كذلك فإن الألوان النـاتجة منـه فيما بعـد ، بفعل انكسـارات جديدة ، ليست سوى الألوان ذاتها التي يتركب منها بياض هذه الحزمة . ان الانكسار الحـاصل في المنشـور HIKkh ينتـج الألوان T, S, Q, P ، على الورقـة ، لا بتغييـر مواصفات الأشعة اللونية بل بفصل الأشعة التي كان لها نفس المواصفات اللونية قبل أن تدخل في تركيبة هذه الحزمة المكسورة ذاتها من الضوء الأبيض XY : لأنه لولا

ذلك، لكان للأشعة ذات اللون المعيّن على العدســة لون آخـر على الــورقة، بعكس مــا أظهرته التجربة.

وأيضاً لمعرفة سبب ألوان الأجسام الطبيعية ، عرّضت بعضها للحزمة الضوئية XY فوجدتها جميعاً بذات الألوان التي تظهر بها في وضح النهار ، وإن هذه الألوان تتعلق بالأشعة التي كانت لها نفس الألوان على العدسة قبل دخولها في تركيبة هذه الحزمة الضوئية . فهكذا مثلاً، اذا أضأنا كبريتوز الزئبق بهذه الحزمة فإنه يبدو بذات اللون الأحمر الذي يبدو عليه في وضح النهار ؛ واذا حجبنا عن العدسة الأشعة الخضراء والزرقاء ، فإن لونه الأحمر سيبدو اشدّ وأزهى . أما اذا حجبنا الأشعة الحمراء فلن يبدو أحمر بل يصبح أصفر أو اخضر او بلون أخر ، وذلك حسب نوع الأشعــة التي تضيئه والتي لم نحجبها . وهكذا يبدو الذهب المعرّض لهذه الحزمة بذات اللون الأصفر الذي نراه فيه في وضح النهار ، لكن اذا حجبنا عن العدسة كمية مناسبة من الأشعة الصفراء ، فإنه يبدو أبيض كالفضة ، ممّا يظهر أن لونه الأصفر ناجم عن الغزارة الفائقة لهذه الأشعة المحجوبة ، والتي تصبغ ، عندما نسمح لها بالمرور ، هذا البياض بلونها الخاص . كذلك أضأت بنفسي سائلاً معيناً بحزمة الضوء XY فبدا أزرق ، بفضل الجزء المنعكس من الضوء ، وأحمر بفضل جزئه العابر للسائـل ، كما نـرى ذلك في وضح النهار . لكن اذا حجبنا الأزرق عن العدسة فسيخسر السائل المذكور للحال لونه الأزرق المعكوس ، بينما يحتفظ لونه الأحمر العابر بكل كماله ، ويصبح أشد ، وأقتم بابتعاد بعض الأشعة الزرقاء التي كان يحملها . وعلى العكس ، اذا حجبنا عن العدسة الأشعة الحمراء والأشعة المنتجة للبرتقالي ، فسيخسر السائل لونه الأحمر العابر بينما يبقى لونه الأزرق ، ويصبح أكمل . نرى من هنا أن هذا السائل لا يصبــغ الأشعة بــاللون الأزرق أو بالأحمر ، بل يسمح فقط بالمرور بغزارة أكبر للأشعة الحمراء سابقاً ، ويعكس بغزارة أكبر الأشعة الزرقاء سابقاً . ونستطيع بالطريقة عينها أن ندرس أسبــاب أية ظاهرة أخرى ، بإقامة التجارب في هذه الحزمة الضوئية الاصطناعية XY .

نهاية الجزء الثاني من الكتاب الأول

* * *

مسرد المصطلحات

ابتدائي. أولي	primitive
التواء	inflexion
إنعراج	diffraction
انعكاسية	reflexibility
إنكسار	refraction
إنكسارية	refractivity
بؤرة	focus
تباعد	divergence
تداخل	interference
تقارب	convergence
جسميّة	object glass
جيب	sine
جيب التمام	cosine
حجب	shut out
خسوف	eclipse
زرنيخ أصفر (رهج)	orpiment
شبكية	retina
شبه الظل	penumbra
عدسة	lens
عدسة العين	crystalline humor
رطوبة بلورية	
عيب	imperfection
قرنية	cornea
كبريتوز الزئبق	cinnabar of vermilion
كُرّاث	leek
كمد	opaque
لا متجانس	heterogeneous
متجانس	homogeneous
متطاول. مستطيل	oblong
متعاقب	successive
متمركز	concentric
متوازي السطوح	parallelpiped
متوازي الأضلاع	parallelogram
مجهر	microscope
محدّب	convex
مخطط بياني	scheme
مركز الثقالة	center of gravity
مستوي	plane
مقراب	telescope
مقعّر	concave
مماس	tangent
منشور	prism
ورود	incidence
يرقان	jaundice

محمد يوسف المحويشي

في هذا الكتاب

■ إسحق نيوتن عالم فيزيائي بريطاني مشهور، وصاحب نظرية الجاذبية التي أثبتها بعد بحوثٍ ودراسات شاقّة دامت عشرين سنة.

■ إتّبع نيوتن في كتابه هذا «رسالة في البصريّات» وفي سائر كتبه العلمية المختلفة المنهجيّة العلمية لأول مرة في تاريخ العلوم.

■ توصّل نيوتن بعد وضع هذه الرسالة إلى ترسيخ محطات علمية كوّنت أسساً مهمة في تطوير العلوم الرياضية والفيزيائية، سواء أكان ذلك في البصريات، أم في أيّة مجالاتٍ علمية أخرى.

■ الحقائق العلمية لم تصل الينا إلّا بعد جهد وعناء كبيرين يُرينا هذا الكتاب جزءاً يسيراً منهما. فكيف يواجه نيوتن وعلماء اليوم المعضلات العلمية؟

المترجم

■ د. الياس شمعون من مواليد لبنان سنة 1954.

■ نال شهادة الليسانس في مادة الفيزياء من الجامعة اللبنانية، وشهادة دكتوراه دولة في الفيزياء من جامعة غرينوبل في فرنسا سنة 1973.

■ يعمل حالياً استاذاً في كلية العلوم بالجامعة اللبنانية.

■ له ترجمات وأبحاث عديدة في ميدان الفيزياء الذرية وفيزياء الأجسام الصلبة، منشورة في مجلات عالمية.
مؤلفاته: أشعة لازر، معهد الانماء العربي، 1980.

الثمن 4 دولارات